

SCIENTIFIC FOUNDATIONS IN RESEARCH IN ENGINEERING

Collective monograph

ISBN 979-8-88526-742-7

DOI 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2

BOSTON(USA)-2022

ISBN – 979-8-88526-742-7

DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2

*Scientific foundations in
research in Engineering*

Collective monograph

Boston 2022

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – 979-8-88526-742-7

DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2

Authors – Korniylo I., Gnyp O., Lemeshev M., Bereziuk O., Sivak K., Romanova M., Taniverdiev A., Chuiko K., Perepelytsia Y., Polschikova N., Vasylenko O., Tanirverdiev A., Chvyrova O., Богданенко О., Гладишев Д.Г., Гладишев Г.М., Бродський М.О., Савенко В., Окружкін А., Благодарьов В., Фесенко М., Окружкін О., Єжов С., Синьковська О., Ігнатенко А., Ессам Е., Кричковская Л., Дубоносов В., Грицаенко Ю., Andrushchak I., Matviiv Y., Androshchuk I., Коротка Л., Мінцер О., Пісоцька Л., Глухова Н., Тепла Т., Шишацький А.В., Журавський Ю.В., Гурський Т.Г., Вакуленко Ю.В., Nevliudov I., Zharikova I., Bronnikov A., Cherplakov Y., Komarov Y., Korolyov O., Lys S., Kovalenko T., Galyanchuk I., Matiko F., Roman V., Matiko H., Krykh H., Фединець В., Васильківський І., Tufekchi V., Veresotskyi Y., Сімахіна Г., Науменко Н., Олійник С., Сова О.Я., Романов О.М., Шишацький А.В., Налапко О.Л., Igilikuly V., Gnatyuk S., Вовчук Т., Лобойченко В., Рашкевич Н., Шевченко О., Шевченко Р., Симбірський Г., Gavva O., Volodin O., Kryvoplias-Volodina L., Galynska O., Kryvoplias-Volodina L., Tokarchuk S., Maslo M., Volodin O., Red'ko Y., Garanina O., Romanyuk E., Svidlo K., Karpenko L., Peresichna S., Бернацький А., Сіора О., Соколовський М., Лукашенко В., Шамсутдінова Н., Варжель О.В., Kalinina M., Kostyk S., Shybetskyi V., Yahlinskyi V., Hutyria S., Василенко О.О., Парненко В.С., Корбут Є.В., Попель О., Семерак М.М., Римар Т.І., Saiko V., Narytnyk T., Кравцов В., Чупайленко О., Козлов А., Білокур М., Поліщук Р., Шаповал В., Шашенко О., Скобенко О., Гапеев С., Коновал В.

REVIEWER

Ivan Katerynchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Worker of Education of Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology, Professor of the Department of Telecommunication and Information Systems of Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine.

Kostiantyn Dolia – Doctor of Engineering, Department of automobile and transport infrastructure, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”.

Published by Primedia eLaunch

<https://primediaelaunch.com/>

Text Copyright © 2022 by the International Science Group(isg-konf.com) and authors.

Illustrations © 2022 by the International Science Group and authors.

Cover design: International Science Group(isg-konf.com). ©

Cover art: International Science Group(isg-konf.com). ©

All rights reserved. Printed in the United States of America. No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted, in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. The content and reliability of the articles are the responsibility of the authors. When using and borrowing materials reference to the publication is required.

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe and Ukraine. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science.

The recommended citation for this publication is:

Scientific foundations in research in Engineering: collective monograph / Kornlyo I., Gnyp O. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. 709 p. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2

TABLE OF CONTENTS

1.	ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION	
1.1	<p>Kornylo I.¹, Gnyp O.²</p> <p>ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MODELING OF DESIGN AND CONSTRUCTION SYSTEMS</p> <p>¹ Department of organization of construction and safety, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture</p> <p>² Department of processes and apparatus in the technology of building materials, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture</p>	13
1.2	<p>Lemeshev M.¹, Bereziuk O.², Sivak K.¹</p> <p>FEATURES OF THE USE OF INDUSTRIAL WASTE IN THE FIELD OF BUILDING MATERIALS</p> <p>¹ Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University</p> <p>² Department Security of Life and Pedagogic of Security, Vinnytsia National Technical University</p>	25
1.3	<p>Romanova M.¹, Taniverdiev A.², Chuiko K.³, Perepelytsia Y.⁴, Polschikova N.¹</p> <p>MODERN ARCHITECTURE OF SOME OLD CITIES OF EUROPE AND ASIA</p> <p>¹ Department of Architecture and Art, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture</p>	32
1.4	<p>Vasylenko O.¹, Tanirverdiev A.¹, Chvyrova O.¹</p> <p>ARCHITECTURE OF RESIDENTIAL DEVELOPMENT IN THE HISTORICAL ENVIRONMENT OF THE CITY</p> <p>¹ Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture</p>	57
1.5	<p>Богданенко О.¹</p> <p>ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ В БУДІВНИЦТВІ</p> <p>¹ Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності, Національний університет водного господарства та природокористування (Рівне)</p>	67
1.6	<p>Гладишев Д.Г.¹, Гладишев Г.М.², Бродський М.О.¹</p> <p>ПІДСИЛЕННЯ РІЗНОТИПНИХ ФУНДАМЕНТІВ СУЦІЛЬНОЮ ПЛИТОЮ</p> <p>¹ Кафедра архітектурного проектування та інженерії, Національний університет “Львівська політехніка”</p> <p>² Кафедра будівельних конструкцій та мостів, Національний університет “Львівська політехніка”</p>	103

1.7	Савенко В. ¹ , Окружкін А. ² , Благодирьов В. ³ , Фесенко М. ⁴ , Окружкін О. ¹ , Єжов С. ¹ ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ НА БАЗІ СИСТЕМИ ЗБІРНО- МОНОЛІТНИЙ КАРКАС УНІВЕРСАЛЬНИЙ БЕЗРИГЕЛЬНИЙ (КУБ-2,5) ¹ Київський національний університет будівництва і архітектури ² ТОВ ВБК"Містобуд", м. Обухів, Київська обл ³ ВБК Інвест Моно КУБ, м. Мелітополь, Запорізька обл ⁴ ТОВ ВБК Моноліт, м.Мелітополь, Запорізька обл	113
1.8	Синьковська О. ¹ , Ігнатенко А. ¹ ЦИЛІНДРИЧНА СТАЛЕБЕТОННА ОПОРА БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД НОВОГО ТИПУ ¹ Кафедра мостів конструкцій і будівельної механіки ім.. В.О. Російського, Харківський національний автомобільно-дорожній університет	123
2.	CHEMICAL TECHNOLOGY	
2.1	Ессам Е. ¹ , Кричкова Л. ¹ , Дубонос В. ¹ , Грицаенко Ю. ¹ ПРИМЕНЕНИЕ ФУЛЛЕРЕНА И ФУЛЛЕРЕНОПОДОБНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРЕПАРАТОВ АДСОРБЕНТОВ ¹ Национальный Технический Университет «ХПИ», Г.Харьков	139
3.	COMPUTER SCIENCE	
3.1	Andrushchak I. ¹ , Matviiv Y. ¹ , Androshchuk I. ¹ INFORMATIONAL AND MATHEMATICAL MODELING IN EPIDEMIOLOGICAL STUDIES OF ACUTE RESPIRATORY DISEASES ¹ Lutsk National Technical University	155
3.2	Коротка Л. ¹ ДИФФЕОМОРФІЗМ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ АНАЛІТИЧНИХ ФОРМУЛ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КОРОДУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ¹ Кафедра інформаційних систем, ДВНЗ «Український державний хіміко- технологічний університет»	165

3.3	<p>Мінцер О.¹, Пісоцька Л.², Глухова Н.³, Тепла Т.⁴</p> <p>КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ КОГЕРЕНТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ</p> <p>¹ Кафедра медичної інформатики, Київ, «Національний університет охорони здоров'я України ім. Л. Шупика»</p> <p>² Кафедра госпітальної терапії, Дніпро, Дніпровський державний медичний університет,</p> <p>³ Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем, Дніпро, НТУ «Дніпровська політехніка»,</p> <p>⁴ Інститут геотехнічної механіки НАНУ, Дніпро</p>	175
3.4	<p>Шишацький А.В.¹, Журавський Ю.В.², Гурський Т.Г.³, Вакуленко Ю.В.⁴</p> <p>МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ОБСТАНОВКИ</p> <p>¹ Науково-дослідний відділ розвитку засобів радіоелектронної боротьби, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна</p> <p>² Кафедра електротехніки та електроніки, Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, м. Житомир, Україна</p> <p>³ Кафедра телекомунікаційних систем та мереж, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна</p> <p>⁴ Кафедра інформаційних систем та технологій, Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна</p>	191
4.	ELECTRICAL ENGINEERING	
4.1	<p>Nevliudov I.¹, Zharikova I.¹, Bronnikov A.¹</p> <p>DETERMINATION OF CRITICAL MECHANICAL LOADS ON FLEXIBLE CONNECTION STRUCTURES AS PART OF A MOBILE ROBOTIC PLATFORM</p> <p>¹ Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv National University of Radio Electronics</p>	213
5.	ENERGY AND ENERGY ENGINEERING AND TECHNOLOGIES	
5.1	<p>Cheplakov Y.¹, Komarov Y.¹, Korolyov O.¹</p> <p>USE OF NATURAL CIRCULATION IN SAFETY SYSTEMS OF SMALL MODULAR REACTORS</p> <p>¹ Department of nuclear power plants, Odessa Polytechnic State University</p>	222

5.2	Lys S. ¹ , Kovalenko T. ¹ , Galyanchuk I. ¹ CALCULATION MODELLING THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF FUEL RODS ¹ Department of Heat Engineering and Thermal and Nuclear Power Plants, Lviv Polytechnic National University	239
5.3	Matiko F. ¹ , Roman V. ¹ , Matiko H. ² , Krykh H. ¹ ANALYSIS OF INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE FEATURES OF PIPELINE ON MEASUREMENT RESULT OF FLOW RATE BY MEANS OF PRESSURE DIFFERENTIAL DEVICES ¹ Department of Automation and Computer Integrated Technologies, Lviv Polytechnic National University ² Department of Heat Engineering and Thermal and Nuclear Power Plants, Lviv Polytechnic National University	249
5.4	Фединець В. ¹ , Васильківський І. ¹ ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ ПІДСИСТЕМИ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ ¹ Національний університет «Львівська політехніка»	258
6.	FOOD TECHNOLOGY	
6.1	Tufekchi V. ¹ , Veresotskyi Y. ¹ DETERMINING THE INFLUENCE OF THE COOLANT VELOCITY ON THE PARAMETERS OF THE FORMATION OF THE SPRAY TORCH IN THE DRYING CHAMBER ¹ Department of Technological Equipment and Computer Technology Design, National University of Food Technology	270
6.2	Олійник С. ¹ ВПЛИВ МІКРОКОМПОНЕНТІВ ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ТА СЕНСОРНУ ОЦІНКУ ГОРІЛОК І ЛІКЕРО-ГОРІЛЧАНИХ НАПОЇВ ¹ Національний університет харчових технологій	285
6.3	Сімахіна Г. ¹ , Науменко Н. ¹ СПЕЦІАЛЬНІ ХАРЧОВІ ПРОДУКТИ ЯК ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ПРОФІЛАКТИЧНІ ЗАСОБИ МІНІМІЗАЦІЇ ДІЇ РАДІАЦІЇ ¹ Кафедра технології оздоровчих продуктів, Національний університет харчових технологій	320

7.	INFORMATION TECHNOLOGIES	
7.1	<p>Со́ва О.Я.¹, Рома́нов О.М.², Ши́шацький А.В.³, На́лапко О.Л.⁴</p> <p>МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ МАРШРУТИЗАЦІЇ В МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ</p> <p>¹ Кафедра автоматизованих систем управління військами, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна</p> <p>² Управління військової частини, Військова частина А 1906 , м. Київ, Україна</p> <p>³ Науково-дослідний відділ розвитку засобів радіоелектронної боротьби, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна</p> <p>⁴ Науково-дослідна лабораторія автоматизації наукових досліджень, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна</p>	335
7.1.2	МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	336
7.1.3	МАТЕМАТИЧНА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В УМОВАХ ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ВПЛИВІВ НА СИСТЕМУ РАДІОЗВ'ЯЗКУ	337
7.2	<p>Igilikuly B.¹, Gnatyuk S.¹</p> <p>COMMUNICATION NETWORKS OF THE FIFTH GENERATION FORCED TO RECONSIDER IDEAS ABOUT DATA SECURITY, THE PRINCIPLES OF MANAGING THEM AND ENSURING CONTROL OVER THE OPERATION OF CONNECTED DEVICES. WITH THE ADVENT OF 5G SERVICES, NEW ATTACK VECTORS HAVE EMERGED AND ATTACKERS HAVE NEW TARGETS</p> <p>¹ Satbayev University, Institute of Automation and Information Technologies, Almaty</p>	348
7.3	<p>Вовчук Т.¹, Лобойченко В.², Рашкевич Н.³, Шевченко О.⁴, Шевченко Р.¹</p> <p>ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ QR – ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ТЕРИТОРІЯХ, ЯКІ ПОСТРАДЖАЛИ ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ</p> <p>¹ Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій</p> <p>² Кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки</p> <p>³ Кафедра пожежної профілактики в населених пунктах</p> <p>⁴ Відділ адміністративної роботи, Національний університет цивільного захисту України.</p>	357

7.4	Симбірський Г. ¹ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ¹ Кафедра інформатики та прикладної математики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет	369
8.	INNOVATIVE TECHNOLOGIES	
8.1	Gavva O. ¹ , Volodin O. ¹ , Kryvoplias-Volodina L. ² , Galynska O. ³ SYNTHESE EINES DIGITALEN ECHTZEIT- STEUERUNGSSYSTEMS FÜR PNEUMATISCHE ANTRIEBE ¹ Abteilung für Maschinen und Geräte für die Lebensmittel- und Pharmaproduktion, Nationale Universität für Lebensmitteltechnologien, Ukraine ² Abteilung für Mechatronik und Aufbautechnik Nationale, Universität für Lebensmitteltechnologien ³ Abteilung für Fremdsprachen der Berufsrichtung, Nationale Universität für Lebensmitteltechnologien	383
8.2	Kryvoplias-Volodina L. ¹ , Tokarchuk S. ¹ , Maslo M. ¹ , Volodin O. ¹ SYNTHESE EINES ADAPTIVEN MECHATRONISCHEN SYSTEMS ZUM PNEUMATISCHEN TRANSPORT VON SCHÜTTGUTPRODUKTEN ¹ Abteilung für Mechatronik und Aufbautechnik, Nationale Universität für Lebensmitteltechnologien, Ukraine	402
8.3	Red'ko Y. ¹ , Garanina O. ¹ , Romanyuk E. ¹ NANOTECHNOLOGIES FOR CREATING INNOVATIVE TEXTILE MATERIALS WITH SPECIAL PROPERTIES ¹ Kyiv National University of Technologies & Design	426
8.3.1	МЕТОДИ ПОВЕРХНЕВОЇ НАНООБРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	426
8.3.2	ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ЕЛЕКТРОПРОВІДНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	433
8.3.3	НАНООБРОБКА ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, МОДИФІКОВАНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ НАНОЧАСТИНКАМИ, ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЇ	440

8.4	Svidlo K. ¹ , Karpenko L. ¹ , Peresichna S. ² GASTRONOMIC TOURISM AS A POWERFUL INNOVATIVE TECHNOLOGY TO INCREASE TOURIST FLOWS IN UKRAINE ¹ Educational and Scientific Institute of Economics and Management, O. N. Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy, Kharkiv, Ukraine ² Department of Hotel, Restaurant and Tourist Business, Kyiv National University of Culture and Arts, Kyiv, Ukraine	444
8.5	Бернацький А. ¹ , Сіора О. ¹ , Соколовський М. ¹ , Лукашенко В. ¹ , Шамсутдінова Н. ¹ АНАЛІЗ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ РОБІТ ІЗ ОПЛАВЛЕННЯ ПОКРИТТІВ, НАНЕСЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ НАГРІВУ ¹ Інститут Електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України	455
8.5.1	СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ, ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ	455
8.5.2	АНАЛІЗ РОБІТ З ОПЛАВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ	460
8.6	Варжель О.В. ¹ ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АГРОСФЕРИ ОБЛАСТІ ¹ Кафедра екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування	465
9.	MECHANICAL ENGINEERING	
9.1	Kalinina M. ¹ , Kostyk S. ¹ , Shybetskyi V. ¹ ALGORITHM FOR CALCULATING THE VIBRATION RESISTANCE OF SHAFTS OF MECHANICAL MIXING DEVICES ¹ National Technical University of Ukraine, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine	478
9.1.1	TERMS AND DEFINITIONS	479
9.1.2	GUIDELINES FOR CALCULATING THE NATURAL OSCILLATION FREQUENCY OF A WEIGHTLESS MMD SHAFT WITH ONE DEGREE OF FREEDOM	480
9.1.3	INSTRUCTIONS FOR CALCULATING THE CRITICAL ANGULAR VELOCITY AND VIBRATION RESISTANCE CONDITION OF A SMOOTH WEIGHTLESS SHAFT WITH ONE DEGREE OF FREEDOM	482

9.1.4	INSTRUCTIONS FOR CALCULATING THE NATURAL OSCILLATION FREQUENCY OF A SMOOTH WEIGHTLESS SHAFT WITH TWO OR MORE DEGREES OF FREEDOM	485
9.1.5	INSTRUCTIONS FOR CALCULATING THE FREQUENCY OF NATURAL OSCILLATIONS OF A SMOOTH SHAFT, TAKING INTO ACCOUNT ITS UNIFORMLY DISTRIBUTED MASS ALONG THE LENGTH	488
9.1.6	METHODS OF ENGINEERING CALCULATIONS OF SMOOTH SHAFTS OF MMD TAKING INTO ACCOUNT THEIR OWN DISTRIBUTED MASSES	493
9.1.6.1	INSTRUCTIONS FOR CALCULATING THE VIBRATION RESISTANCE OF RIGID SMOOTH SINGLE-SPAN AND RIGID AND FLEXIBLE SMOOTH CANTILEVER SHAFTS	495
9.1.6.2	INSTRUCTIONS FOR CALCULATING THE VIBRATION RESISTANCE OF RIGID STEPPED CANTILEVER SHAFTS	501
9.2	Yahlinskyi V. ¹ , Hutyria S. ¹ RESEARCH OF RELIABILITY OF MECHANISMS OF PARALLEL STRUCTURE OF HEXAPOD TYPE ¹ State University "Odessa Polytechnic"	507
9.3	Василенко О.О. ¹ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ РЕМОНТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПІДВИЩЕННЯМ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПРЕСОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ МЕТОДАМИ ¹ кафедра охорони праці та фізики, Сумський національний аграрний університет	517
9.4	Парненко В.С. ¹ , Корбут Є.В. ¹ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗУБІВ ВІДРІЗНИХ ПИЛ З НЕРІВНОМІРНИМ КРОКОМ ДИСКОВИМИ ОБКАТНИМИ ФРЕЗАМИ ¹ кафедра конструювання машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)	528
9.5	Попель О. ¹ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ГЛОБОЇДНИХ ПЕРЕДАЧАХ ¹ Кафедра динаміки машин та механічної інженерії, Національний Університет "Одеська політехніка"	571
9.5.1	ТИПОВІ ПОШКОДЖЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГЛОБОЇДНОЇ ПЕРЕДАЧІ	571
9.5.2	ОСНОВНІ ВИДИ РОЗРАХУНКІВ ГЛОБОЇДНОЇ ПЕРЕДАЧІ	580
9.5.3	ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ВЕЛИЧИНУ РОЗРАХУНКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ	592

9.5.4	ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ І ПУТІ ЇЇ РІШЕННЯ	595
10.	METALLURGY AND ENERGY	
10.1	Семерак М.М. ¹ , Римар Т.І. ¹ УМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ ПІД ЧАС ВИТОКУ ВОДНЮ І ЙОГО ВПЛИВ НА СТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ МАШЗАЛУ АЕС ¹ Кафедра теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій, Національний університет «Львівська політехніка»	600
11.	TRANSPORT AND COMMUNICATIONS, SHIPBUILDING	
11.1	Saiko V. ¹ , Narytnyk T. ² 5G WIRELESS METHOD WITH INCREASED RELIABILITY AND ENERGY EFFICIENCY USING TERAHERTZ FREQUENCY RANGE ¹ Dept. of Applied Information Systems, Taras Shevchenko National University of Kyiv ² Institute of Electronics and communication of the Ukrainian Academy of Sciences	609
11.2	Кравцов В. ¹ ТРИБОТЕХНІЧНА ВЛАСТИВІСТЬ ПРОФІЛЮ ШОРСТКОСТІ ПРИ ДЕФОРМУВАННІ НЕРІВНОСТЕЙ У СИСТЕМІ "КОЛЕСО-РЕЙКА" ¹ Національний авіаційний університет, Київ	626
11.3	Чупайленко О. ¹ , Козлов А. ¹ , Білокур М. ¹ , Поліщук Р. ¹ ХАРАКТЕРИСТИКА МИТНИХ ПРОЦЕДУР У МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ¹ Кафедра міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет	636
11.4	Шаповал В. ¹ , Шашенко О. ¹ , Скобенко О. ¹ , Гапєєв С. ¹ , Коновал В. ² НАПРУЖЕНО – ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ОСНОВ ГРЕБЕЛЬ ІЗ ҐРУНТОВОГО МАТЕРІАЛУ З ТРАПЕЦЕЇДАЛЬНИМ ПОПЕРЕЧНИМ ПРОФІЛЕМ ¹ Department of Publishing Information Technologies, Dnipro University of Technology ² Department of industrial and civil construction, Cherkasy State Technological University	646
	REFERENCES	661

SECTION 1. ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.1.1

1.1 Organizational and technical modeling of design and construction systems

The diversification and individualization of the social needs of building products requires a high degree of flexibility in the economic mechanism, its ability to respond quickly and without loss to a change in the direction of development of science and technology, to the structure of demand. This form of activity is based on the expansion of risky entrepreneurship and the systemic organization of modern production [1].

The system organization implies, first of all, the formation of a scientific and construction complex, the competitiveness of builders not only in the domestic, but also in the world markets. The concept of "organization" should be considered from two sides: static and dynamic. In the first case, the term "organization" can describe the state of internal order, consistency and interaction of parts of the whole. In this interpretation, the concept of "organization" is identical to the concept of "system".

And how the organization system has certain features somehow:

- ✓ consists of many elements interacting with each other, i.e. has the integrity property;
- ✓ has a clear organizational form, i.e. between its elements there are ordered connections;
- ✓ unites the elements included in it with a single goal;
- ✓ has the property of emergence, i.e. a qualitatively new property of the whole, which none of its elements, taken separately, has.

For the implementation of structuring, it is necessary to establish those signs, in accordance with which the organization how the system is divided into its component objects. Such signs are:

- ✓ homogeneity of functions performed by individual objects;
- ✓ Homogeneity of the goals of the activities of objects. Separate structural elements of the organization include objects engaged in the production of certain types

of products, works and services, serving a particular area of activity, having the same production processes, etc.;

✓ territorial community of objects. When implementing structuring, it is necessary to correctly determine the number of levels allocated as elements of the structure. The more complex the production, the more levels can be distinguished.

Scientific research on the formation and development of organizational and technological building systems based on new information technologies is very relevant and fruitful [2].

The elements of the technological system model, which activates control over any information flows, are presented in the table 1:

Table 1.

Elements of the technological system model

Elements	Content
1. Internal environment	
1.1 Production	Types of production, resources and technology for the design and construction of various types of buildings
1.2 Functional	The functions of engineering and technical workers and employees, ensuring the achievement of the ultimate goal - the creation of a high-quality and reliable facility.
1.3 Procedural	Technology, anticipation of the formation of documentation, its approval, expertise, technical and environmental information.
1.4 Technical	Formation of documentation: means of communication, software.

Continuation of Table 1.

Elements	Content
1.5 Environmental	Pricing for design and construction products, methods of stimulating quality, reliability of new construction products.
1.6 Personnel	Quantity, structure, qualification of personnel.
2. External environment	
2.1 Customers	Composition of executors, investors, main executors of work, allocation of land plots for construction.
2.2 State supervision	Coordination of design and estimate documentation, examination, registration of land plots, initial cost, design and survey work.
2.3 Manufacturers	Formation of applications for the execution of the necessary products, the conclusion of contracts, guaranteed product quality and delivery times.
2.4 Supply organizations	Applications for building materials, delivery schedules, transport.
2.5 Mounting hardware	The composition and qualifications of performers, the creation of new technologies and equipment, the cost of product quality.

The process of forming an organizational structure includes:

- ✓ formulation of goals and objectives;
- ✓ determination of the composition and location of construction units;
- ✓ number of employees and resource provision;
- ✓ development of regulatory procedures and documents;
- ✓ forms, methods, processes carried out in the management system.

The development of an organizational and technical enterprise management system includes the following stages:

- ✓ formation of a general structural diagram of the control apparatus;
- ✓ development of the composition of the main units and communication between them;
- ✓ regulation of the organizational structure.

The formation of a general structural scheme provides for:

- ✓ determination of goals and problems of production and economic activity;
- ✓ general specification of functional and program-target subsystems that ensure their achievement;
- ✓ the number of levels in the management system, the degree of centralization and decentralization of powers and responsibilities at different levels of management;
- ✓ the main forms of the relationship of the organization with the external environment and the requirements for the timing of information processing, staffing and economic mechanism.

The development of the composition of units and the relationship between them provides for the implementation of organizational decisions, includes both a set of large enterprises and divisions of individual enterprises.

Development of the composition of units and communication between them provides for:

- ✓ implementation of organizational decisions, including both a set of large enterprises and subdivisions of individual enterprises of the management apparatus of small and medium-sized industries.
- ✓ distribution of the main tasks and building intra-production relations, including departments, departments, bureaus, sectors, laboratories. The regulation of the organizational structure includes:
 - ✓ development of quantitative characteristics of the management apparatus and procedures for management activities;
 - ✓ determination of the composition of internal elements: bureaus, groups and positions;

- ✓ determination of the design number of the subdivision, the labor intensity of the main types of work and the qualification composition;
- ✓ distribution of tasks and works between specific performers and establishment of responsibility for their implementation;
- ✓ development of procedures in subdivisions of the order of their interaction in the performance of interrelated sets of works;
- ✓ calculation of management costs and performance indicators of the management apparatus in the conditions of the project organizational structure.

The main stages of creating new construction products are determined in accordance with the requirements of the current legislation. The issue of assessing the impact of changes in legislation on the model of the organizational and technological system has also become relevant. Two groups of methods for studying the system are accepted: a priori and experimental ones.

A priori methods include:

- ✓ examination of design, technological, management documentation;
- ✓ modeling of a possible redistribution of costs between design and construction organizations;
- ✓ modeling of technology for the formation of design and estimate documentation and construction.

The experimental ones are:

- ✓ assessment of possible ways of rational development of documentation for similar facilities in order to save labor costs for designers;
- ✓ control observations and obtaining objective data during construction and trial operation.

Based on the data obtained, reserves are identified to improve the efficiency, reliability and quality of new construction products.

An example of a study, as a rule, are objects of regional financing, industrial, public and residential type.

A model of a design and construction system focused on the creation of new construction products, modeling and analysis of the degree of influence of changes on

the design and operation of facilities, structuring the reserves for improving the efficiency, reliability and quality of new construction products.

The process of organizing production, which involves the design, construction, operation and improvement of production systems, includes a number of related types of work. At the same time, one should proceed from the fact that the organization of production can be aimed at creating or improving the existing production system. In the first case, the goal of the organization is to create a production system for a new enterprise or some new division in an existing enterprise, in the second - the organization is associated with the improvement of the existing system, i.e. with the reorganization of production or the entire enterprise, or one or more of its divisions.

In the work on the organization of production, it is necessary to determine the organizational goal, i.e. determine the result expected from a specific organizational work.

As organizational goals, such results of organizational activities as increasing the rhythm and efficiency of production, improving the quality of products, decrease in stocks of inventory items, etc. In some cases, several organizational goals are put forward at the same time, which requires their coordination.

The process of determining the organizational goal involves the joint work of the head of the enterprise and specialists in the field of production organization.

Establishing the types of activities and determining the circle of participants in the work. Once the goals of the organization have been defined, the activities needed to achieve them must be established.

The extreme complexity and importance of this stage of organizational work should be taken into account.

Since all levels of the structure are in relation to subordination, the problem of reasonable distribution, delegation of rights, duties and responsibilities, which establish the relationship between objects located at different levels of the structure, arises. It is about the relationship between centralization and decentralization.

Centralization solves the problem of coordinating the activities of objects located at lower levels of the structure. Centralization is possible and necessary when the

processes carried out in the organization are sustainable and stable. Decentralization is required where the properties of objects located at a lower level of the structure are in constant dynamics under the influence of diverse factors, the consequences of which can be very uncertain.

Both centralization and decentralization make it necessary to coordinate the activities of the objects that make up the structure of the organization. Coordination involves ensuring the joint functioning of objects located at different levels of the structure. It is a process aimed at ensuring the best development of the organization under the given conditions in which this organization operates. Coordination is carried out in two directions:

- ✓ establishing rules, regulations that govern the course of action that make up the organization;
- ✓ practical support for the implementation of these rules in the operation of each object that makes up the organization.

However, the concept of "organization" is somewhat broader than the concept of "system", since it is not only a state of order, but also ordering processes, which can be both natural (embodying the organizing principle of nature) and purposefully formed by people.

Most often, the term "organize" is used when it comes to the purposeful interaction of people with each other (establishing stable relationships, coordinating activities, etc.) or the expedient construction of people's actions with the work of machines and mechanisms. For example, actions to create an enterprise mean the grouping of living (workers) and materialized (machines, buildings, structures, raw materials and materials) labor for a specific purpose - the functioning of the future enterprise. That is, under the "organization" in this case, one should understand the totality of natural processes and actions of people leading to the formation and improvement of the relationship between parts of the whole.

Thus, "organization" is understood as a complex system (with a certain structure and type of connections), functioning within the boundaries of certain rules and One of

the signs of the organization is isolation, expressed in the isolation of internal processes and the presence of boundaries separating it from the external environment.

These boundaries can be material in the form of walls and fences or ideal (prohibitions, norms, rights, regulations, etc.). For example, the closeness of the circulation of funds of an entrepreneurial organization, which can only function normally when the costs of production are fully returned as a result of the sale of products procedures to realize the purpose of its existence. Still, a sign of an organization is consistency, the presence of links (economic, technological, administrative, informational, social, etc.) between its individual elements, with the help of which they interact and influence each other. Also, a sign is self-regulation, which allows the organization, within certain limits, to independently resolve many issues of internal life and, taking into account specific circumstances, carry out external commands.

Finally, as another sign of the organization, the presence of a specific culture, which is considered today as a first-order competitiveness factor, should be mentioned. Culture (including management) is a fusion of values, traditions, beliefs, norms, symbols, which largely determine the relationship in the team and the direction of people's behavior.

Organizations as systems are made up of interdependent components. Changes in one component of the system lead to changes in its other components. Similarly, organizations tend to strive for balance. Finally, to continue to exist, the organization as an open system must maintain favorable relationships with the external environment. The characterization of any organization is impossible without a clear reflection of the influence of environmental factors and the assessment of internal environmental factors on the development goals of the organization and the nature of its activities. At the same time, it is important to determine the nature of the environment and the nature of its influence on the management of the organization. The external environment of the organization, as a rule, is divided into a macro environment and a micro environment.

The macroenvironment characterizes all situations in the business environment of a city (country, region), its characteristic features affect the activities of all economic

entities, regardless of the form of ownership and the specifics of the products offered on the market (both for a private hairdresser, and for a large electrical equipment manufacturer, etc.). The macroenvironment includes broader social forces (factors) that affect the microenvironment: demographic; economic; natural; scientific and technical; political and legal.

Demographic factors are determined by the demographic environment, which is one of the most important, since this environment largely determines future demand. Demographic factors are the population size, its density; territorial location; age structure, fertility, mortality; the number of marriages and divorces; ethnic and religious structure of the population. The economic environment consists of factors that affect the purchasing power of the population and the nature of purchases. Economic factors are the economic situation of the country (region); purchasing power of citizens; dynamics and structure of consumption; financial, monetary, credit situation of the country. The natural environment is the resources of nature itself, necessary for the activities of the organization or influencing it.

Natural factors are the natural resources of the country (region), the prospects for their use; the degree of provision of national production with the main types of raw materials and fuel; the influence of state bodies on the intensity of resource consumption; the level of environmental pollution in general and in individual regions.

The technological environment is the most powerful force that affects all the technical capabilities of an organization. Scientific and technological factors are the pace and extent of scientific, technical and technological changes; intensity of innovation; innovative potential of the organization and its main competitors; safety requirements for innovations; personnel qualification.

The political and legal environment includes legislative factors that affect the activities of the organization. Political and legal factors are the political institutions in the country and their development; state of legislation regulating economic and economic activity; the consequences of the influence of foreign economic policy on competition and demand in the domestic market; the influence of the public on the nature of decisions taken by state bodies.

Cultural environment – includes institutions that influence the core values, preferences and behavioral norms of society. Sociocultural factors are the level of cultural development; forms of crops; features of cultural and moral values of consumer groups; the degree of susceptibility of public consciousness to the influence of external factors.

The microenvironment characterizes the parameters and situation of activity in a single market of particular interest to the organization (for example, the characteristics of the cotton fabric market or the hotel services market). The microenvironment refers to the forces operating in the area immediately adjacent to it, which can affect its ability to serve customers: the organization itself; suppliers; buyers; intermediaries; competitors; financial organizations; mass media; public [3].

The degree of success of an organization in the market depends on various factors that make up its market opportunities. This success is largely determined by the elements of the internal environment of the organization: the personnel potential of the organization; organizational and managerial capabilities of the organization; design and engineering potential of the organization; production capabilities of the organization; marketing potential of the organization; material and financial capabilities of the organization. In the analysis, environmental factors are divided into: controlled by the organization (managed and directed by it).

These include all factors of the internal (intracompany) environment, as well as factors of the microenvironment with which the organization directly interacts, since these factors (customers, suppliers, intermediaries, competitors, contact audiences), interacting with the organization, have a counter-effect (but not control); not controlled by the organization (beyond its authority).

These include macro-factors of the external environment, which have an almost one-sided nature of the impact on the organization, it only remains to actively adapt to them. When considering the factors of the internal (intra-company) environment controlled by the organization, it should be taken into account that some of the factors are controlled by the top management of the organization (field of activity, strategic

development goals, the role of marketing and other services of the organization, corporate (corporate organizational) culture).

The organization must have an effective feedback system that allows you to have a fairly complete picture of the relevant factors of the uncontrolled external environment. Based on this information, the organization must adapt its strategy to the environment, taking into account its competitive advantages and development goals. Long-term sustainable success implies the need to find new opportunities that match the goals, as well as timely respond to the threats of competitors, changing the organization's development strategy. Despite all the variety of possible definitions and interpretations of the concept of "organization", in the literature there are the most common features that can be grouped into six main classes, or types: the formalization criterion is the main characteristic of the organization that determines its goals, connections and relationships; type of ownership; attitude to profit; organizational and legal form; dimensions; participation in various sectors of production.

The changes taking place in the world and domestic economy predetermined the emergence of more and more competitive new organizational forms. The greatest prevalence and popularity in the economic environment of Ukraine had such forms of integration as: financial and industrial groups; business unions; clusters; virtual organizations. Financial and industrial groups are large organizations that combine industrial enterprises, trading firms, banks, investment funds and insurance companies.

Entrepreneurial unions are formed on the basis of voluntary cooperation agreements that unite companies of different sizes and forms of ownership. Clusters are business unions united in certain territories, the latter provide them with certain competitive advantages.

Virtual organizations – a network of independent companies united by modern information systems in order to mutually use resources, reduce costs and expand market opportunities.

Ukrainian management practice is characterized by close attention to the hard factors of business: structures, technologies, policies, clear functionality, control.

This allows you to ensure the functional manageability of the business, its security. The formation of new meanings that create a coherent, consistent vision of the company's new reality for the staff is, in most cases, not considered as a separate management task. As a result, the personnel of enterprises begins to independently form a picture of the world, which helps them explain the changes that are taking place – the process of meaning formation becomes spontaneous.

This process takes place against the backdrop of an unfavorable perception by the staff of their position in the company. Employees are not presented with the idea of the social purpose of the organization, therefore the primary meaning of the existence of any commercial organization – making a profit – appears before the employees in a naked form. The social value of their work is not present in the picture of the world being formed. The attention to hard factors broadcast by the management is perceived as discrediting the value of personnel, reducing its role to the level of a technological resource – a part of technology.

1.2 Features of the use of industrial waste in the field of building materials

In the modern conditions of the construction industry, one of the main tasks is to create new effective materials, improve their quality and thermophysical characteristics, and expand the range of construction products. Future prospects for the development of enterprises in the construction materials industry are at the stage of radical revaluation due to the acute shortage of energy resources. To solve the problem of reducing the cost of final construction products and reducing the cost of natural raw materials, fuel and energy and other resources, a special role is given to expanding the use of industrial waste. With this resource source, as confirmed by research, there are significant reserves for the rise of production and its further intensification [4-9].

The main task of builders today should be the introduction of new advanced and economical technologies for the production of building materials using industrial waste and local raw materials. It should be borne in mind that the development of ways to solve the problem of environmental pollution by heavy tonnage waste - ash-removal of thermal power plants and environmentally hazardous waste from the chemical industry - phosphogypsum, desulfogypsum [9-11].

Up to 10 million tons of ash and slag waste are generated annually in Ukraine, and more than 50 million tons are accumulated in dumps. Such waste should be considered not only as a factor of environmental pollution, but also as a source of additional resources for a wide range of construction materials. In the Vinnytsia region alone, about 20,700,000 tons of ash and slag waste have been accumulated at the Ladyzhyn TPP, and about 800,000 tons of phosphogypsum are stored on the territory of the former Khimprom plant. About 300 thousand tons of dispersed metal waste - metal sludge - have been accumulated at the enterprises of metal processing enterprises of the region.

Increasing the strength of construction products can be solved by technological methods - through the integrated use of chemical and active mineral additives and activation of raw materials [12-14]. To obtain natural mineral supplements requires additional costs for their extraction, transportation and production. At the same time,

Ukraine accumulates a huge amount of industrial waste annually, the share of their use in the technology of building materials is 5-8 times less than in foreign countries [15].

A comprehensive solution to the problem of economy and environmental friendliness of construction products is possible by developing new effective composite binders and concretes using industrial waste that would meet basic construction requirements, namely such products must have sufficient strength, high water resistance, fire resistance and frost resistance.

Currently, the development of the concept of maximum use of industrial waste (ash-removal, phosphogypsum, red bauxite sludge and other waste) as raw materials to obtain new modern building materials and products that are not inferior to traditional properties, but are more efficient in environmental and economic points of view.

In accordance with modern world trends, composite binders (composite cements, binders based on industrial waste) are becoming increasingly important, which should be considered as an alternative to traditional binders, with the greatest attention being paid to binder systems containing limited amount of Portland cement clinker (up to 20%). Therefore, ash as an aluminosilicate substance should become one of the main components of modern binders.

The structure and composition of ash depends on a complex of simultaneously acting factors: morphological properties of fuel combustion, fineness of grinding in the process of its preparation, fuel ash content, chemical composition of the mineral part of the fuel; temperature in the combustion zone; time spent in the combustion zone [16-18].

A characteristic feature of the fly ash is a smooth fused glassy surface and approximately the correct spherical shape of the particles. Due to this particle shape, the ash increases the plasticity of the mixture and is therefore used in the technology of preparation of concrete as a plasticizer [19].

The density of fly ash from the combustion of different fuels ranges from 1800 to 2400 kg/m³; the average porosity of the ash is 4.8-7.4 %; bulk density - from 600 to 1100 kg/m³. The main component of the fly ash is a vitreous aluminosilicate phase,

which is 40-65% of the total mass, its particles have a spherical shape with sizes up to 100 μm .

Analysis of scientific research and practical experience in the use of fly ash, indicates the economic feasibility of using waste thermal power plants in the production of cement and complex multicomponent binder. The amount of SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO significantly affects the basic physical and chemical properties of construction products. As a result of previous research, it was found that to improve the physico-chemical and physico-mechanical characteristics of construction products, it is most appropriate to use the fly ash of Ladyzhyn TPP. Its chemical composition is one of the main evils, which will have a positive effect on the processes of structure formation.

Analysis of the experience of using fly ash shows that when it is introduced into the concrete mixture, it performs several functions, has multifunctional properties. However, it should be borne in mind that an excessive amount of ash in the ash-containing materials leads to increased porosity and reduced rate of strength over time, impairs performance, including frost and corrosion resistance. To prevent such undesirable processes, complex additives with multifunctional action are introduced into the concrete mixture, which not only determine the kinetics of strength, but also form the appropriate structure of the material, which significantly affects the physical and mechanical properties and durability of artificial stone [20].

Analysis of scientific papers on the use of fuel ash and slag in the composition of binders and concrete, shows the feasibility of activating the ash in different ways. The choice of activation method depends on the chemical and mineralogical composition of the ash, the method of its production, as well as the composition of the binder system. Since the ash performs several functions when introduced into the concrete mix, its amount can be increased both through the use of different types of activation and due to multifunctionality. Moreover, the introduction of ash not only in the binder, but also as a microfiller and fine aggregate, will contribute to the formation of a stronger contact zone by increasing the degree of crystal chemical similarity of tumors and relict residues that are not subject to hydration.

The amount of ash used in the complex binder of the concrete mixture can be increased by activating it in various ways, chemical, mechanical, mechanochemical. The authors in works [21-23] established the relationship between the types of fuel ash and slag, methods of their activation and the possibility of their use in building materials and products.

The possibility of using fly ash in the binder system is determined by pozzolanic activity, which ensures the stability of the properties of artificial stone over time. Pozzolanic activity depends on many factors, the most important of which are the chemical composition of pozzolana, its mineralogical composition and specific surface area. As a result of research, the authors in their works [24-28] came to the following conclusion:

- the efficiency of the use of ash in the composition of cement-sand compositions subject to heat treatment, higher not only in quantity but also in quality, the coefficient of pozzolanic ash in the studied systems after heat treatment is 2-2.5 times higher in comparable to samples that harden under normal conditions;

- the optimal amount of ash, which increases the strength of cement-sand compositions depending on the chemical and mineralogical composition and specific surface area and is 20-40 wt. % of the amount of filler. When using fly ash and fluid ash, the amount of pozzolanic component is 35-40 wt.%, The pozzolanic coefficient is more than 1.7. In the case of using ash removal, the pozzolanic index is 1.3-1.7;

- fluid ash and removal ash are highly active, and water removal ash is a medium activity additive. In the study of the activity of energy wastes of different origins in the initial state, the maximum value of the pozzolanic coefficient is achieved when using the ash-removal Ladyzhinskaya TPP;

- mechanical activation of ash and slag waste increases the pozzolanicity coefficient by 11-37%. Thermal activation (heat-wet treatment or autoclaving) has the most noticeable effect on this indicator;

- the use of complex activation of ash and slag waste partially eliminates fluctuations in their chemical and mineralogical composition.

The use of mechanical, chemical and complex activation of ash and slag waste allows to produce materials with improved strength characteristics and high performance properties, and the use of certain types of activation of ash and slag waste affects the phase composition of tumors, which can positively affect the durability of mortars and concretes [29].

The authors in their works [30-31] developed the principles of compositional construction of ash-filled artificial materials, which increase the amount of ash-slag component in the concrete mixture without compromising the properties of the synthesized artificial stone:

- taking into account the composition, structure of ash and slag waste and the choice of appropriate the method of activation of ash, which causes a change in both the physical state and the chemical composition of the raw material;

- mandatory introduction of ash-filled binder systems plasticizing or complex additives containing, in addition to the plasticizing additive, an active microsilica or aluminosilicate component that prevents the formation in the late stages of hardening of secondary ettringite and taumasite;

- the choice of the type of plasticizing additive should be made taking into account the chemical and mineralogical composition of the ash and modifying mineral additives.

Phosphogypsum waste is a by-product of phosphoric acid production by extraction. Depending on the temperature-concentration conditions of decomposition of phosphate raw materials, the solid phase of calcium sulfate can be represented by one of three forms: dihydrate, hemihydrate or anhydrite. Phosphogypsum waste can be attributed to gypsum raw materials, as they consist of 80-95% of calcium sulfate.

Large-scale use of phosphogypsum is hindered by its specific features: physical state, high humidity, the presence of phosphoric and sulfuric acid and water-soluble harmful compounds of phosphorus and fluorine.

Residues of free phosphoric and sulfuric acid, solutions of salts - monocalcium phosphate, dicalcium phosphate and others are present in phosphogypsum, slow down hardening and reduce the strength of cement binders [35]. The release of fluoride gases

during heat treatment complicates the technology of production of building materials. High acidity of raw materials leads to corrosion of equipment. Newly formed sulfates of sodium, potassium and calcium tend to stand out on the surface of the products when they dry, in the form of efflorescence. Therefore, the use of unrefined phosphogypsum complicates the production of gypsum binder with satisfactory mechanical properties. The concentration of acid residues can be reduced by washing. Pre-washing of phosphogypsum raw materials requires additional costs and leads to new types of waste - acid effluents, which must be disposed of.

Before using phosphogypsum, it is necessary to remove or neutralize harmful impurities and reduce the concentration of acid residues. You can neutralize acidic residues with quicklime. The amount of lime is selected based on the cost of phosphogypsum neutralization and additionally to maintain a highly alkaline environment. Lime interacting with H_3PO_4 , CaHP_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, H_2SiF_6 and HF , forms insoluble compounds of $\text{Ca}_3(\text{HPO}_4)\text{F}$, $\text{Ca}_5(\text{HPO}_4)\text{OH}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaSiF_6 , and CaF_2 [33]. However, this technology involves the use of high-energy substance - building lime only to neutralize acidic and harmful residues. It should be noted that the cost of lime is currently higher than the cost of cement, which is illogical, as cement is fired at $1450\text{-}1500^\circ\text{C}$ and lime - $1000\text{-}1200^\circ\text{C}$, so the cost of lime should be zero due to less use of energy component.

The concentration of acid residues can be reduced by washing. Flushing phosphogypsum with water also allows you to wash away harmful water-soluble impurities and obtain raw materials for the production of gypsum binders. This requires at least four times the volume of water relative to phosphogypsum. The disadvantage of this technology is the production of acidic aqueous solutions with an acid concentration of 2 to 6% wt., which require additional costs for disposal.

The authors in their work [37-39] proposed a more efficient technology for processing phosphogypsum waste by neutralizing acid residues with removal ash with its simultaneous mechanochemical activation. During the activation of the removal ash, its vitreous is destroyed, and active particles of silica and alumina are released. The disadvantage of this technology is the production of low-quality products.

To improve the washing of phosphogypsum with water, the authors in suggested the use of additives "C-3" and "Relaxol". These additives provide better leaching of acids with less water. Table 1 shows how the acid content in the aqueous solution changes when washing phosphogypsum with water as a result of the use of additives "C-3" and "Relaxol".

Table 1

The content of the acid residue in an aqueous solution when washing phosphogypsum with water in a ratio of one to one

Sample	Acid residues in aqueous solution, %		
	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₄	P ₂ O ₅
Phosphogypsum is washed with aqueous solutions of acids without additives	1.37	0.26	2.03
Phosphogypsum is washed with aqueous solutions of acids with the addition "C-3" -0.5%	2.55	0.92	3.8
Phosphogypsum washed with aqueous solutions of acids with the addition of "Relaxol" -0.5%	1.53	0.34	2.38

As can be seen from the table, the concentration of phosphoric and sulfuric acid increases due to the use of additives "C-3" and "Relaxol". Such additives provide better leaching of acids with less water. As a result, you can reduce the amount of acid effluents by 2-4 times, and most importantly get aqueous solutions with higher concentrations of phosphoric and sulfuric acid. Such effluents do not need to be neutralized, they can be used for chemical activation of fly ash.

1.3 Modern architecture of some old cities of Europe and Asia

Architecture of Rotterdam: history and modernity

Роттердам – один зі старовинних і в той же час дуже молодих міст Європи, у якому сучасна архітектура знаходиться поруч із будівлями минулого часу. Його нова забудова так поєднується з архітектурою до початку Другої світової війни 1939-1945 рр., що не порушує її характер. Цей делікатний метод входження нової забудови у сформоване історичне середовище гідний бути показовим для багатьох міст світу.

У 1991 р. населення Роттердаму (мал.1) складало 958 000 ос., а у 2021 р. – 1012 000 ос., що робить його другим за кількістю населення міст Нідерландів. Місто загальною площею 324,1 км² є частиною агломерації Рейнмонд. Ріка Ніве-Маас, головна притока р. Рейн, ділить місто на північну й південну частини. [40,41]

Приблизно до 1270 р. на місці сучасного Роттердаму було невелике рибальське селище. Завдяки судноплавству й торгівлі тут було збудовано нові гавані, що сприяло швидкому зростанню міста. За 6 років, з 1866 по 1872 рр., був проритий новий водяний шлях, що з'єднав ріку Маас із морем, і Роттердам перетворився на світовий порт. Під час Другої Світової Війни, 14 травня 1940р., місто було практично повністю зруйновано в результаті бомбардування німецькою авіацією.



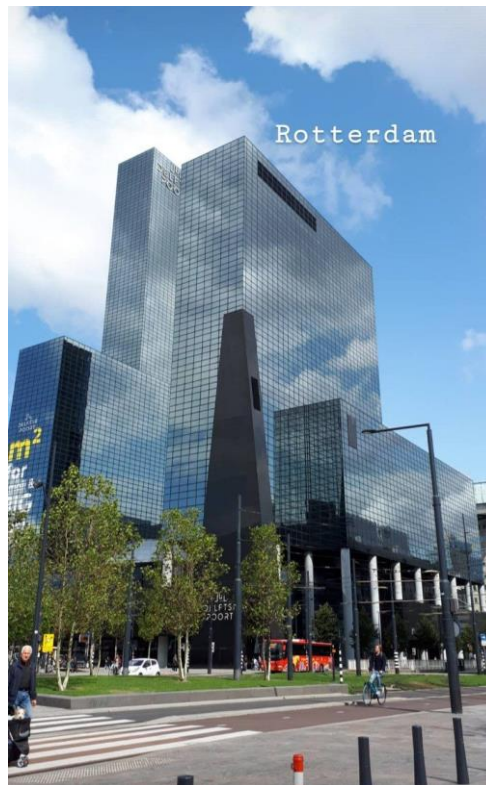
Малюнок 1. Мапа Королівства

Нідерланди з визначенням м. Роттердам та мапа Роттердаму з пам'ятками архітектури за текстом 1 – Вокзал, 2 – Delftse Poort, 3 – Лайнбан, 4 – Марктхал, 5 – Кубічні будинки, 6 – Бібліотека, 7 – Собор Св. Лаврентія, 8 – Люхтсінгел, 9 – Пірс Вільгельміна, 10 – Міст Еразма, 11 – Міст Віллема.

Під час Другої Світової Війни, 14 травня 1940р., місто було практично повністю зруйновано в результаті бомбардування німецькою авіацією. Після закінчення війни було прийнято рішення про його відновлення. Власний архітектурний стиль виник завдяки прагненню до модернізації. Ідея ділового центру здавалась вдалою, тому було зведено офісні будівлі (дна з яких приведена на мал. 2) біля центрального вокзалу за принципом: центру – робочі місця, околицям – житло. У результаті центр почав вимирати, не допомогла й втілена в життя пішохідна вулиця Лайнбан (мал. 3) за проектом арх. бюро «Ван ден Брук і Бакема» в 1953 р. У 2018 р. розпочалась реновація вулиці архітектурним бюро «Mei architects and planners», яке використовувало у своєму дизайні натуральні матеріали: теплий бетон, дерев'яні панелі та багато скла. Вулиця й досі функціонує як торгівельний центр.

Сучасний залізничний вокзал Роттердаму (мал. 4) був відкритий у 2014р. на місці старого за проектом бюро «Bentham Crouwel Architects, MVSA Architects, West 8».

Вокзал Роттердаму увійшов у трійку найкрасивіших станцій Нідерландів.



Малюнок 2. Офісний хмарочос Delftse Poort біля центрального вокзалу.

Архітектор Абе Боннема, 1988-1991 рр.



Малюнок 3. Пішохідна торгівельна вулиця Лайнбан.

В інтер'єрі багато дерева, повітря й природного освітлення. Перед архітекторами стояла задача вписати у навколишню середу вокзал, парадним входом обернений на діловий центр міста, а протилежним – на збережену забудову XIX ст. Автори поєднали дах із природним освітленням і влаштували 130 000 сонячних панелей – найбільше застосування сонячних батарей на

покрівлі у Нідерландах, і це один з найбільших подібних проєктів у Європі. Сонячні елементи розміщені з урахуванням небосхилів навколо й різняться за світлопропусканням. [42]



Малюнок 4. Центральний залізничний вокзал Роттердаму.

Ринок Марктхал (Markthal) (мал. 5) і кубічні будинки (мал. 6) були збудовані в різний час, і обидва – це місця залучення туристів та місцевих жителів. За рішенням муніципалітету, було збудовано об'єкт, який поєднує в собі житло, ринок і паркінг. Фасад – найбільший у Європі з кабельної мережі зі склінням, потребує дуже мало конструктивних елементів. Перший критий ринок у державі, запроектований архітектурним бюро «MVRDV і Provast», був відкритий королевою Нідерландів 1 жовтня 2014 р. Будівля ринку має площу 95,00 м², висоту – 40 м, довжину – близько 120 м і ширину 70 м; обладнана підземним паркуванням. Два нижніх яруси – основна торгова зала й ринкові приміщення, яруси вище – 228 жилих квартир, для яких передбачені незалежні для ринкового простору входи з ліфтами. Зала вентилюється природним шляхом, під скляним фасадом поступає свіже повітря, яке піднімається до даху й виходить із зали через вентиляційні шахти. Розумна система каналізації сприяє економії води. [43] Кубічні будинки (Kubuswoningen), (мал. 6) – ряд будинків, збудованих за новаторським проєктом архітектора Піта Блома у 1984 р., розміщені вздовж головної транспортної вулиці Блаак поблизу однойменної станції метро, де наявність підземного тунелю вимагала точності при зведенні



Малюнок 5. Ринок Марктхал.

фундаменту.

Ганс Ментінк, політик, який відповідав за просторове планування в той час, втомився від утилітарної архітектури і вважав, що Роттердам «потребує архітектури, в якій є небагато життя». Піт Блом зрозумів, що житло на вузьких стовбурах дозволить максимізувати суспільний простір знизу та створити ідеальні види зверху. Така концепція була надихнута роботами Ле Корбюзьє.

Радикальним рішенням Блома було те, що він повернув паралелепіпед будинку на 45 градусів і поставив його під кутом на шестигранний пілон. Стіни та вікна по відношенню до пола нахилені під кутом 54,7 градусів. Кожний куб має загальну площу 106 м², розділений на три рівня: 1) – кухня, туалет, робочий кабінет; 2) – дві спальні з ванними; 3) – трикутна піраміда для дитячої кімнати або солярію. Каркас кожного куба дерев'яний, ізолюваний мінеральною ватою й обшитий цементом і деревоволокнистими плитами. Крім житлових кубів, є два великі «суперкуби»: молодіжний гуртожиток та соціальне житло. [44]

Бібліотека Роттердама (мал. 7) – найбільша в країні, вирішена у промисловому дизайні. Будівництво було завершено в 1977 р. в результаті конкурсу, в якому переможцем став роттердамський архітектор Якоб



Малюнок 6. Кубічні будинки.

Бакема, професор Делфтського технічного університету. Будівля має форму куба зі зрізаним кутом, де скляний «водоспад» містить у собі ескалатори, які з'єднують шість поверхів. Яскравий елемент – система кондиціонування повітря: пофарбовані в жовтий колір труби зовні. В будівлі знаходиться одна з найкрупніших бібліотек звукозапису в Європі, театр-бібліотека, книжковий магазин, кафе, інтернет-тераси, лекційні зали. [45] Собор святого Лаврентія (Grote of Sint-Laurenskerk) (мал. 8) – єдиний пам'ятник Середньовіччя в Роттердамі. Будівництво храму проводили з 1449 по 1525 рр. Спочатку церква належала католикам, але після Реформації будівля перейшла до протестантів, через що вівтарі та статуї було знищено, а інтер'єр перероблено під протестантські служіння. Під час бомбардування собор був майже зруйнований, тому при відновленні міста його хотіли знести. Але багато хто висловився категорично проти цього рішення. Його реставрація затягнулась на шістнадцять років – храм був відкритий для парафіян у 1968 р.[46]



Малюнок 7. Бібліотека Роттердама.



Малюнок 8. Собор святого Лаврентія.

Роттердама, завширшки 390 м, з'єднав та оживив розрізнені території. Будівництво – з 2011 по 2014 рр. Це перший в світі зібраний за допомогою краудфандінгу громадський об'єкт інфраструктури, створений переважно на засоби громадян та жителів міста. [47]



Малюнок 9. Пішохідний міст Люхтсінгел.

Унікальність Роттердама в тому, що в ньому дивовижним чином поєднуються історичні пам'ятки та збудовані поруч сучасні споруди, які в свою чергу є культурним надбанням країни. Показовим прикладом цього тандему можна назвати пірс Вільгельміна (мал. 10). Ансамбль пірсу утворений наступними будівлями: готель Нью-Йорк (1993, арх. Мюллер), Світовий портовий центр (1998-2001, арх. Норман Фостер), хмарочос Монтевідео (2003-2005, арх. бюро Месапоо), майстерня Лас Пальмас (1951-1953, арх. бюро Ван ден Брук і Бакема), офіс оператора зв'язку KPN (1998-2000, арх. Ренцо Піано), новий театр Луксор (2001, арх. Пітер Фермаас), хмарочос Новий Орлеан (2007-2010, арх. Алвару Сіза), хмарочос Де Роттердам (2009-2013, арх. Рем Колхас).



Малюнок 10. Пірс Вільгельміна.

Південну та північну частини міста з'єднує міст Еразма (мал. 11), названий на честь знаменитого філософа Еразма Роттердамського, він є одним із яскравих образів міста. Це другий міст через р. Маас, завдовжки 802 та заввишки 139 м, відкритий в 1996 р., арх. Бен ван Беркель. Через свою незвичайну асиметричну форму і білий колір міст отримав прізвисько “лебідь”. Він – найвищий із розвідних мостів у світі. Тридцять дві розпірки і вісім підпірок утримують конструкцію в рівновазі. П'ять бетонних опор несуть сталеву платформу, розділену на різні смуги руху: дві пішохідні доріжки, дві велосипедні доріжки, трамвайні рейки та дві проїжджі частини для автомобілів. Вночі спеціальний світловий проектор підкреслює внутрішню частину мосту.



Малюнок 11. Міст Еразма.

Міст Віллема (Willemsbrug) (мал. 12) зв'язує північну частину міста з районом Феєнорд. Був збудований в 1981 р. за проектом К. Верлінга й названий на честь короля Нідерландів – Віллема III. Під час заміни старого моста в 1879 р. новий отримав загальну довжину в 318 м. Пофарбований в червоний колір, він різко контрастує з білим мостом Еразма.



Малюнок 12. Міст Віллема.

Вище приведено найвизначніші споруди післявоєнного часу Роттердаму, які сформували зовсім нове унікальне європейське місто, в якому надсучасна архітектура співмежує з невеликими острівками історичної забудови. В цьому і є притягальна сила цього оригінального міста.

Architecture of Istanbul XVIII - XX centuries

Богата історично-архітектурна спадщина Стамбулу належить не тільки усьому місту, а і всій Туреччині і є скарбницею архітектурних винаходів, які мали втілення у подальший розвиток турецької архітектури. Карта стамбура - рис. 1.

З XVII ст. у Турції почалася деяка застійність в економічному розвитку, що вплинуло на розвиток економіки на всьому протязі XVIII ст. і відбилося на всіх боках життєздатності населення. Однак, столиця — Стамбул— продовжувала забудовуватися новими спорудами, хоч і з обмеженням [48, с.472].



Рис. 1 Карта исторического центра Стамбула.

На протязі XVIII ст. було зведено три мечеті: — Хекимоглу Алі - паши, 1734; — Нур Османіе, 1748-1755 рр., зодчого Симона Кольфи; — Лалелі, 1759-1763 рр. Крім того, із важливих будівель покладено початок комплексу палацу Топ-Капи. Будівництвом первісного палацу - з дерева на березі Босфору у 1709 р. Обмежені фінансові можливості сприяли зведенню лише малих архітектурних форм, з яких найбільш бажаними були фонтани. Такі відомі і збереженні доси фонтани: — Ахмеда III перед —палацом Топ- Капи, 1728 р., — Хекимоглу Алі- паши і Топхане, обидва у 1732 р.. Ще треба відмітити серед значних будівель XVIIIст. бібліотеку Ахмеда III (рис. 2), 1719р. Ця “значна будова” - невелика, прямокутного плану з триарковим портиком і симетричним йому виступом-ліхтарем в середині з поздовжених фасадів, з купольним покриттям [48, с.472; 40,с.453].

XIX ст. залишило більше архітектурних пам’яток, лише мечеті зведено - п’ять: — Селіміє, 1805 р.; - Нусретіє, 1826 р.; — Ортакей, 1854; — Валіда, 1871 зодчий- італієць Монтані; — Хламідії, 1886 р. Але саме в XIX ст. світська архітектура почала грати ведучу роль в житті населення.

Попереду всього, розчиняються палацові (султанські) будови, до яких відносяться як окремі павільйони у палацових комплексах, так і нові палацові споруди.

З початку XVIII ст. став розростатися комплекс Топ-Капи, який був закінчено у 1804 р. зведенням павільйону Меджидіє. З другої половини XIX ст. споруджено два палаці: Долмабахче, 1843-1856 рр. (рис. 3) і Бейлербей, 1865 р. Слід відмітити, що архітектура XIX ст. втрачає поступово риси національного характеру і йде в ногу з загально європейськими стилями. Цей вихід позначився у павільйоні Меджидіє 1840 р., а потім мав розквіт у спорудах початку з другої половини XIX ст. Так, у 3-х поверховому палаці Долмабахче фасади вирішені у змішаному національно з європейському (необароко) стилі (але інтер'єри — у чистому бароко). Такі ж характерні риси має і палац Бейлербей. Вихід



Рис. 2. Бібліотека Ахмеда III. Загальний зовнішній вигляд навіть мечеті Нусретіє (бароко) і Ортакьой (необароко).



Рис. 3. Палац Долмабахче. Загальний зовнішній вигляд

Туреччина як і інші європейські країни мала дипломатичні відносини з другими європейськими державами, які мали свої резиденції саме в Стамбулі. Наприклад, літня резиденція італійського посольства, 1894 — 1900 рр. (італійський архітектор Раймондо де Аронков, стилі необароко [49, с.453]. Так закінчилося в архітектурі Стамбулу ХІХ ст., ведучими архітектурними стилями якого були європейські бароко у першій половині і необароко - у другій.

З початку ХХ ст. турецька архітектура стає більше виразною світською. З ХХ ст і були зведені ще дві мечеті: - Босренджи (1913 р.) і Бебек (1915 р.). Подальший розвиток архітектури Турції має загальноєвропейський стиль, втілювальний в основному у громадські споруди. Ще у 1883р. в Стамбулі була організована Академія мистецтв (спочатку, до 1917 р. — Вища Школа витончених мистецтв, потім, з 1917 р., — Академія витончених мистецтв — АХ), яка вирощувала самостійні кадри для турецької архітектури [49, с.460]. Одним з таких видатних турецьких зодчих ХХ ст. став Седат Хакки Ельдем (роки життя - 1908 - 1988 рр.) . Найбільш відомі його споруди : — Палац справедливості , 1950 р. ; — готель “Хілтон”, сумісно з фірмою “СОМ” , США , 1952 р. ; Генеральне управління Акбанку , 1971 р. З АХ вийшла ціла пліяда саме, турецьких зодчих, які ще додатково вчилися у Вищих закладах мистецтв Європи. Тому і архітектурні споруди Стамбулу ХХ ст. носять доси європейський характер. Такі значні сучасні будівлі Стамбулу : — Муніципалітет, 1958 р., арх. Н. Ерол; — готель “Шератон” , проект 1959 р. (але втілений пізніше) , зодчі — К. Ар Ару , А. Текін, — Х. Чачлар і інші ;— Культурний центр , 1969 р., арх. Х. Табанліоглу ; — Промбан , 1972, арх. М. Хепгюлер. Навіть малі архітектурні форми теж мають громадський характер — це пам’ятки: — Республіки, 1928р. (Італійський скульптор Пьєро Кононіки) ; — Хайраддіку Барбаросі , 1944, арх. скульптор А.Х. Бара, Зюхтю Мрорудогло; — “Ататюрк і молодь” (рис. 4) , 1955, скульптора Ягуз Герей, Х.Атамулу; — “50 лет Турецькій республіці” , 1973 , скульптор - М. Ш. Чаллик [49, с.453].

XX ст. для Стамбулу - час активної забудови. Місто зростало. Тепер тут мешкає чоловік.

Забудова обох берегів Босфору привела до необхідності зведення мостів, які споруджені у XXст. 4 : — Босфорський (або мучеників, з котрого відбувалося багато самогубств) , 1973р., англійські архітектори Гілберт Робертс і Уільям Браун. (довжина 1560м., ширина 33,4 м., основний проліт - 1074м.,)

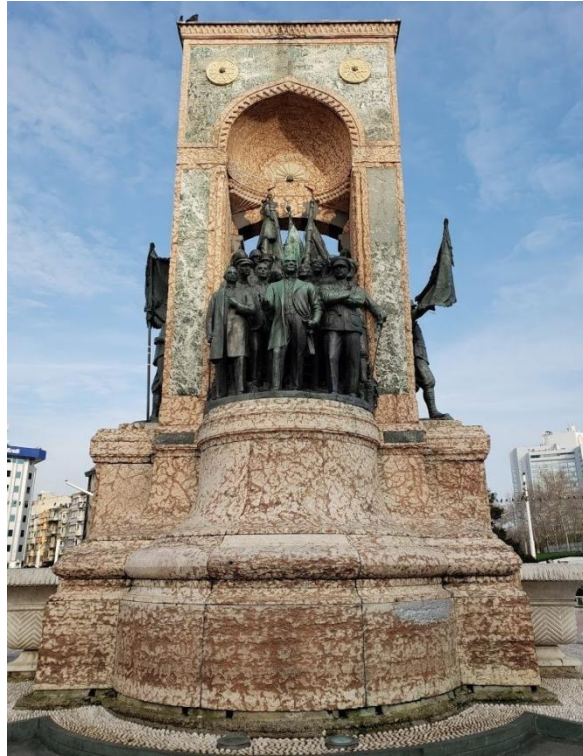


Рис. 4. “Ататюрк і молодь”. Загальний зовнішній вигляд , з'єднує обидва береги біля мечеті Ортакьой, близько до центру. (рис.5) Підвісний з двома опорами по бегерах, з'єднує азіатський район Каватек з Румелі Кайсері (європейський берег)



Рис. 5. Босфорський міст

—Міст султана Махмеда Фатіха, 1985—1988, Японська Компанія "Хайдер Конса динг", (довжина — 1510м., ширина — 39, висота з опорами — 165м., прохід для суден під мостом - 64м., (рис.6).



Рис. 6. Міст султана Мехмеда Фатиха

- Міст султана Селіма Явуза, травень 2013 - березень 2016, арх. Мішель Верюте та швейцарська Компанія "Т-інженеринг", вантово-вісячий, 2 опори на берегах, від кожної - система тросів до середини мосту, смуг руху 8, по 4 в кожную сторону, 2 залізничні колії, прохід для суден під мостом - 64м. (рис.7).



Рис. 7. Міст султана Явуза

з'єднує заміський райони; — один із перших, що неодноразово перебудовується — Галадський: перший 1845р., дерев'яний, на замовлення матері султана Абдули Меджида I, перетинав Золотий Ріг; другий - 1863р., Перед візитом, Наполеона III в Стамбул, дерев'яний, на замовлення султана Абдули Азіза; третій, 1875р., Довжиною 480м, шириною - 14м, дерев'яний; четвертий, 1912р., німецька фірма "МЕН", залізо-бетон, пошкоджений під час пожежі, після чого переміщення вгору за течією Халіча; - На його місці, П'ятий, 1992-1994р., Турецька компанія

"СТФА", в 2005р. по ньому пущений трамвай, розвідний, сталевий, на нижньому ярусі - ресторан, загальна довжина - 80м, ширина - 42м, сполучає європейський берег біля мечеті "Ені-Кале" з азіатською (рис. 8). Усього найбільш значимих мостів 8, наведена характеристика



Рис. 8. Галадський міст

З найбільших споруд ХХІв. виділяється мечеть Чамлідта з 6-ма мінаретами, місткістю 63тис. чол., березень 2019, загальною площею 15тис. м², діаметр купола - 34 м, висота 72м, висота мінаретів - 64 м, це комплекс: мечеть, музей ісламу, художнє ательє, конференц-зали, зведення мечеті на найвищій точці міста забезпечує її видимість на всій території мегаполісу (мал. 9).

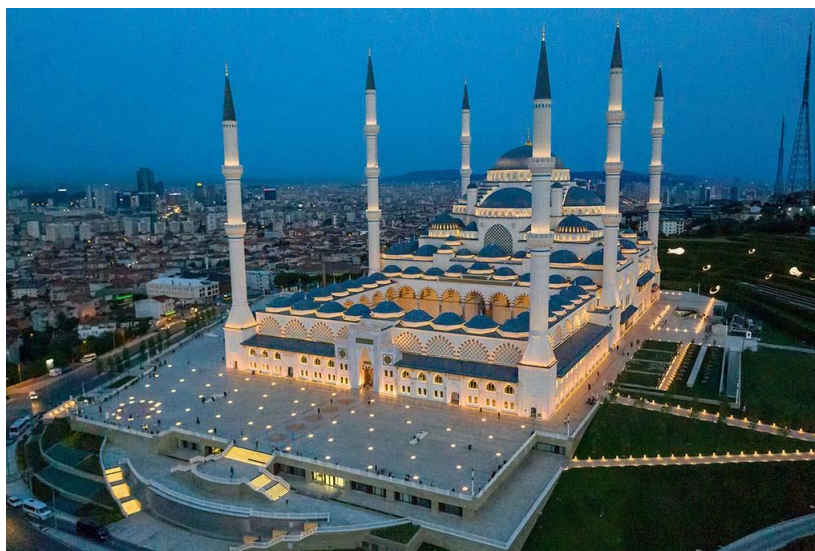


Рис. 9. Мечеть Чамлыджа

—Міст султана Махмеда Фатіха, 1985—1988, Японська Компанія "Хайдер (довжина — 1510м., ширина — 39, висота з опорами — 165м., прохід для суден під мостом - 64м.),

Таким чином , архітектура Стамбула поступово переросла специфічні національні риси увійшла в середовище загальноєвропейської сучасної архітектури. За останні три століття до початку ХХІ ст. вона зайняла почесне місце серед архітектурних досягнень всіх ведучих європейських країн.

Architecture of the modern capital of Kazakhstan

Розпочате у 1954 р., засвоєння цілих земель у Казахстані площею 400 тис. км² (вся територія Казахстану – 2717,5 км²(мал.1) потребувало організації адміністративно-культурного центру всього цього району. Такий центр вже був на цих землях, заснований в 1824 р. на правому березі р. Іртиш в Лівобезжжі Обі, на перетині древніх торгівельних шляхів Сибір-Середня Азія через Казахстан. В 1830 р. тут збудована фортеця під назвою Акмола (від казахськ. – «Біла могила», тобто «могила святого», точніше – «Свята земля»). В 1832 р. фортеця з прилеглим посадом отримала статус міста, в якому здійснено регулярне прямокутне планування. Місто отримало назву Акмолінськ. Ця назва протрималась 129 років, з 1832 до 1961 р. До цього часу місто стало важливим залізношляховим вузлом, в якому перетинались Південно-Сибірська (роки будівництва – 1926-1966 рр.) і Транс -Казахська (роки будівництва – 1905-1906 рр.) залізничні магістралі.

З 1961 р. назва міста – Цілиноград, коли і розпочалась його активна забудова, в якій приймали участь спеціалісти багатьох районів держави, особливо його західних територій.

Існуюче місто ні за своїми масштабами, ні по характеру забудови не відповідало тієї ролі, яку був покликаний грати у нових умовах.



Малюнок 1. Сучасна мапа Казахстану

Генеральний план зростаючого міста виконано у 1961-1962 рр. (головний архітектор проекту – Г. Я. Гладштейн.) За генпланом передбачалась реконструкція старої частини і розвиток нової з регулярним прямокутним плануванням, на вільних землях до південного сходу від старої забудови. По території обидві частини були майже рівні, а кордоном між ними була р. Ішим. Генплан розроблявся одночасно із забудовою.

Ціліноград зростав дуже швидкими темпами. Із західних областей країни, в основному із головних її міст, залізничним транспортом доставлялися зборні конструкції і спеціалісти – будівники, насамперед для житлових п'ятиповерхових панельних будівель, а також для ряду громадських будівель. За перші роки відповідно з генпланом були збудовані: готель «Ішим», будівельний технікум, аеропорт, палац культури з залом на 2320 місць, телецентр та інше.

Цікаво, що палац культури проектувався спочатку для м. Рига (Латвія) як театр, але збудований у Цілінограді. І ще: для дітей Акмолінську у 30-і роки ХХ ст. в парку (який можна назвати тільки умовно парком, оскільки він був засаджений в основному саксаулом – рослиною пустель і полупустель Азії) була збудована діюча дитяча залізнична дорога з вагонами й паровозом (на електротязі). Діти могли вільно розсаджуватись по вагонах. І в жодному іншому місті країни такого не було.

До 1991 р., року розпаду єдиної держави, столицею союзної республіки було м. Алмати на крайньому півдні її території. Це було не надто зручно для політико-економічно-культурного керівництва новою державою. Тому новою столицею був обраний Цілиноград (який отримав колишню назву – Акмолінськ), це нове зростаюче місто серед економічно передових міст південного сходу Казахстану (Петропавловськ, Павлодар, Кокшетау, Караганда). До 1991 р. в Цілинограді проживало 281,250 тис. чол. За указом президента республіки Нурсултана Назарбаєва, 10 листопада 1997 р. Цілиноград отримав нову назву – Астана (казахськ. – «столиця»). В нинішній час тут проживає 1184470 люд. (інше місто-мільйонник Казахстану його колишня столиця – Алмати (це середньовічна назва Алма-Ати радянського часу) з населенням 1 мільйон 200 тис. чол.

З 20 березня 2019 р. Акмолінськ-Цілиноград-Астана отримав нову назву за ім'ям нового першого президента Республіки Казахстан – Нурсултана Назарбаєва – Нур-Султан (у перекладі з арабського : «нур» – «світло», «султан» – «влада», «авторитет»).

Ріка Ішим, яка протікає через місто, поділяє його на дві приблизно рівні по площі частини – «старе місто» й «нове місто». [54]

Автором нового генплану забудови «нового міста» (мал.2) був відомий японський архітектор Кісе Курокава (Kisho Kurokawa), автор проектів музею Ван Гога в Амстердамі, міжнародного аеропорту в Куала-Лумпурі та національного етнологічного музею в Осаці. Створені архітектурні ансамблі Астани, за генеральним проектом Курокави, поєднують у собі сучасний дизайн та азіатський колорит. [51]



Малюнок 2. Генплан «нового міста» Астани

Архітектор Кісе Курокава для пасажирського терміналу аеропорту розробив абсолютно футуристичний дизайн, що поєднує східні та західні традиції. (мал.3) Центральний об'єм забудови – величезний купол, який світиться у темряві, зі зрізаною фасадною частиною. Діаметр – 45 м, висота – 36 м. Внутрішній простір – в стилістиці традиційної казахської юрти. З зовнішньої сторони оброблено матеріалом кольору національного прапора. Інтер'єр забудови прикрашений яскравою мозаїкою з традиційними казахськими орнаментами. [50]



Малюнок 3. Столичний аеропорт (2002-2005)

Палац миру та злагоди (роки будівництва – 2004-2006 рр.) (мал.4) є місцем, де збираються лідери світових та традиційних релігій. Збудований за проектом архітектора Нормана Фостера. Піраміда символізує взаємодію різних світових релігій, культур й етносів.[54]

Основа будівлі складає 62 на 62 м, і висота споруди також дорівнює 62 м. Під час будівництва Піраміди було враховано особливі кліматичні умови міста. Конструкція оснований на ковзаючих опорах, що робить каркас рухливим. У

зимовий період, коли температура повітря стає максимально низькою, піраміда стискається. Такі коливання можуть досягати шести сантиметрів завширшки. [54]



Малюнок 4. Астана. Палац миру та згоди (2004-2006 рр.) Фото Чуйко К. І. 2017 р.

Ще одним творінням Нормана Фостера є розважальний центр – «Хан Шатир» (рис.5) (роки будівництва – 2006-2010). Він входить у десятку найкращих світових екологічних будівель, за рейтингом журналу Forbes Style. Площа комплексу збудована у вигляді величезного асиметричного 150-м (разом зі шпилем) куполу-шатра, зібраного зі сталевих вант, до яких кріпляться пластини з полімерного покриття. Він також є найбільшим шатром у світі. [53]

Площа комплексу – 127 000 кв. м. В будівлі розташовані магазини й кафе, спортивні зали й великий аквапарк. Головна прикраса «Хан Шатир» – курорт з піщаним пляжем, пісок якого привезений з Мальдів, з урахуванням тропічного клімату й рослинності. Завдяки унікальній системі цілий рік там підтримується температура +35°C. [53]



Малюнок 5. Астана. «Хан Шатир» (2006-2010) Фото Чуйко К. І. 2017 р.

Монумент Байтерек (роки будівництва – 1996-2002 рр.) (мал. 6) – одна з основних визначних пам'яток міста. Архітектор – Акмурза Рустембеков. Значимість «Байтерека» як символу нового етапу в житті казахського народу підкреслюється художньою композицією «Аяли алакан» (каз. «Аяли алақан» – «дбайливі руки») з відбитком правої руки президента, розташованої на висоті 97 м, що символізує собою 1997 рік — рік проголошення Астани новою столицею держави та відповідає новій точці відліку в історії країни. [55]



Малюнок 6. Астана. Монумент «Байтерек» (1996-2002) арх. Акмурза Рустембеков. Фото Чуйко К.І. 2017 р.

Мечеть «Нур Астана» (мал. 7) є найбільшою не тільки в Казахстані, але в усій Центральній Азії. Мечеть має чотири мінарети висотою по 62 м, висота головного купола - 43 м, а загальна площа дорівнює 3930 кв. м. Конструкція виконана зі скла, бетону, граніту та алюкобонду. У будівлі мечеті можуть молитися одразу до 5 000 людей. [54]



Малюнок 7. Астана. Мечеть "Нур Астана" (2002-2005) арх. Чарльз Хазіф.

Фото Чуйко К.І. 2017 р.

Будівля Державного архіву Астани (2003 р.) – одно із перших спеціалізованих будівель нового часу – оснащена високотехнологічним архівним обладнанням, відповідаючим міжнародним стандартам й вимогам. Сучасна й гарна будівля – одна з пам'яток Астани, яка приваблює своїм оригінальним зовнішнім виглядом. Його вхід збудований у формі яйця, а сховище має куполообразну форму у східному стилі. Головний адміністративний корпус виконаний в сучасному європейському стилі, він гармонічно доповнює загальний комплекс Державного Архіву.[52]

Будівля TRANSPORT TOWER (рік будівництва – 2003 р.) (мал. 8) є одним з найвищих споруд Казахстану, висота якого досягає 155 м. Це 34-ти поверхова будівля завершує двадцятип'ятиметрова башня. В будівлі розташовані Міністерство Транспорту й Комунікацій, а також Міністерство Індустрії й Торгівлі. Завдяки своєму зовнішньому вигляду у народі отримало назву «запальничка» й «недопалок». [50]



Малюнок 8. Астана. TRANSPORT TOWER. Фото Чуйко К.І. 2017 р.

У 2012 р. Республіка Казахстан виграла право на проведення ЕХРО-2017. І в тому році почалось активне будівництво комплексу виставки, право на проведення якої було підтверджено на 155 сесії Генеральної Асамблеї Міжнародного бюро виставок (МБВ) у Парижі із врученням флагоу бюро у червні 2014 р. Вручення флагоу – призначення ЕХРО-2017 (мал. 9)

Тема ЕХРО-2017 – «Енергія майбутнього», висвітлила одну з найактуальніших тем, що хвилюють світову спільноту – альтернативні джерела енергії. Загальна площа виставкового комплексу ЕХРО-2017 величезна – вона дорівнює 174 гектарам. З них 25 гектарів відведено безпосередньо під виставкову зону, яка містить Національний павільйон Казахстану, міжнародні, тематичні та корпоративні павільйони. Усі збудовані об'єкти підпорядковані головній темі виставки – «Енергія майбутнього». Виставка пройшла з 10 червня до 10 вересня 2017 року. В ній прийняли участь 115 країн і 22 міжнародні організації. [57]



Малюнок 9. Виставковий павільйон EXPO-2017 [56]

Комплекс Сфера став перлиною архітектурних втілень EXPO-2017. У функціонуванні будівлі задіяні новітні технології. Так, знижене споживання енергії у Сфері стало можливим завдяки роботі двох безшумних вітрогенераторів. [57]

Павільйон «Нур Алем» (каз. «Світлий світ») – центральний павільйон EXPO-2017 є найбільшим у світі сферичною спорудою. Проект розроблений американським архітектурним бюро «Adrian Smith + Gordon Gill Architecture», авторами Бурдж-Халіфа в Дубаї та Кінгдом Тауер у Джідді. Діаметр сфери – 80 м, висота – 100 м. [58]

У будівлі є 8 поверхів, кожен з яких відображає певну концепцію. З першого по восьмий поверх представлені інтерактивні композиції, присвячені енергії космосу, Сонцю, вітру, біомасі, кінетичній енергії та енергії води. Перший і восьмий поверхи розповідають про Казахстан і майбутнє Нур-Султана (Астани), на восьмому поверсі працює оглядовий оглядовий майданчик. [58] На кожному рівні Сфери було представлено один напрямок енергетики – космос, сонце, вітер, біомаси, вода та кінетична енергія. Останній рівень показав Астану майбутнього – такою, якою вона стане до 2050 року. [57]

Нова столиця може пишатися тою архітектурою, яка втілена в її середовище. Ця оригінальна архітектура, якої нема ні в одному з міст світу, підкреслює високий статус самої держави у системі держав не тільки Азії, але й серед усіх інших держав.

1.4 Architecture of residential development in the historical environment of the city

The evolution of the development of the historical centers of Ukrainian cities are currently acquiring special relevance in connection with the problems of radical reconstruction of its infrastructure; the lack of territories on the one hand, and the desire for maximum safety of the existing buildings on the other hand. As practical activities show, project of center reconstructions, protected and reserved zones of historical cities are not able to solve the accumulated problems while simultaneously preserving the existing historical ensembles and background buildings as much as possible. In order to adapt the center to modern requirements with minimal destruction of the urban environment, At the present stage of development of housing construction in our country, there is a complex of interrelated architectural, social and economic issues that characterizes the cities of Ukraine. In this regard, the experience of Odessa, actively responds to numerous challenges, and it is likely to become a model city for solving urgent housing problems. Odessa architects are forced to resolve issues related to the choice of free territories for new construction, which every year are becoming more and more challenging and difficult to resolve.

Overproduction has emerged in the municipal housing market, that was caused by a decrease in demand for cheap apartments from the solvent part of the population. It is necessary to find a professional solution to the existing discrepancy between the periods of moral and physical lifetimes of residential buildings.

The study of the problem was carried out at various levels: structural and compositional, mainly based on the materials of the city of Odessa. The proposed research is based on the existing research of other authors on the problem of the development of the historical centers of Ukrainian cities.

Ukraine and European countries have achievements in the field of residential design, it is significant and worthy of a comprehensive study. Domestic and foreign practice of residential design demonstrates the broad direction of the architectural and planning organization. This is not a tribute to fashion, but a deep architectural and

design substantiation, conditioned by the requirements of the problems of economy, ecology and social policy (Fig. 1).

The complex is part of the "green corridor" of Singapore, the so-called micro district in the southeast of the city, where buildings with the largest multi-level greening are concentrated. There are 31 houses around six squares in a hexagonal projection. The blocks are arranged in such a way that they form eight large autonomous volumes with open courtyards at all levels, cascading roof gardens and public terraces (Fig. 2.).



Fig. 1. The Interlace in Singapore - eight hectares of future housing

The World Architecture Festival award for Best Building and Best Residential Complex of 2015 was awarded to The Interlace, which consists of intersecting houses the work is planned to explore the following topical issues. 1. Positions on the possibility of considering the aesthetic problems of organizing large residential areas in historical cities using modern conclusions of the system theory. The principles of compositional and artistic interaction of both individual buildings with the existing systems and systems of different times in the ensemble of a streets, blocks and cities based on the identification of external and internal systemic connections in their

specific architectural perception. Methodology for the formation of new residential complexes in the structure of residential areas in the historic centers of a large cities.



Fig. 2. The 2015 Architectural Oscar was awarded to the Tetrax quarter in Singapore.

The purpose of the study is to substantiate the architectural and planning organization of residential architecture in historical environments of the cities (Odessa as an example). Research objectives: - to introduce a systematic methodology in the study of architectural and planning aspects of the formation of historical living environments of city centers; - show the presence of signs of the architectural and planning organization of residential streets; - to prove the need to preserve residential buildings as integral elements of the historical systems; - to analyze the existing residential urban areas from the position of consistency; - to reveal the interaction of various types of buildings in the historically developed central part of the city; - to trace the relationship between dominant and environmental buildings at the street level and in the city system; - highlight the types of residential development system; - to determine the architectural and planning organizational means.

In the course of the work, it is planned to carry out field surveys of historical streets and blocks of the center of Odessa, and new construction projects in these

areas. Plots of residential areas in the center of Odessa and existing streets were taken as examples, revealing the relationship of various building systems (Fig. 3).



Fig. 3. Multi storey residential building, Lev Tolstoy Square, Odessa

The scientific novelty of the work lies in the theoretical substantiation of the spread of the systemic approach to the formation of the compositional and artistic qualities of residential architecture; in identifying the possibility of interpreting the main types of residential buildings that have developed in the historical development of Odessa, as artistic systems; in the proposed principles of interaction between residential groups of different times and dominant structures in the structure of the street, city; in the creation of a methodology for the ensemble inclusion of new residential construction in the historical environment of the center of Odessa (Fig. 4).

Numerous aspects of the transformation of the historical environment of the center of Odessa were developed by research and design institutes of the city under the guidance of leading experts in this field of architecture and urban planning. In the fundamental theoretical works and project proposals of these teams, many important social and architectural and urban planning problems are posed and developed, such as the choice of residential areas for reconstruction, the density of residential stock, the

composition and set of premises for residential complexes in the existing part of the city, etc. [59].



Fig. 4. Residential building of Bernardazzi and
18-storey "Pearl" on B. Arnavskaya street, Odessa

The object of the research is the historical residential buildings, blocks and streets of the central districts of Odessa. The subject of the research is the architectural and planning organization of residential architecture in the historical environment of the city of Odessa. The methodological basis of the study is the main provisions of dialectical materialism on continuity, which determines the nature of the relationship

between the recent and the old. The work is characterized by a systematic approach to solving a complex of artistic and spatial problems. In the course of the study, the philosophical concepts of systems, unity and harmony were analyzed, which made it possible to substantiate the principles of consistency as fundamental in the interaction of buildings of different times. The author studied works on the history of the formation and development of Moscow residential areas. The study used archival materials from Odessa, the Odessa History Museum, the city's library and OGASA, on the analysis of which the conclusions of the study were proposed.

The living environment of Odessa in the last century was not considered as an integral part of the valuable historical heritage, many prominent scientists and historians, such as V.P. Urenev, A.B. Rallev, O.S. Sleptsov, V.I. Vershinin, reflected in their works significant issues of the formation of residential buildings in the history of the city. In these works, a significant amount of valuable material has been accumulated, which largely served as the basis for the proposed research.

The architecture of historic residential streets and neighborhoods was examined. However, the task of transforming the center of a large city has the goal not only of a new construction, but also of the preservation of historically valuable buildings and complexes in the residential environment of the city, the compositional laws of the formation of which should be taken into account and developed at the present stage of attitudes towards the historical heritage during the reconstruction of vast massifs of terraced buildings [60].

It should be noted that, in contrast to free-standing, spatially separated public buildings, the living environment is a dense mass of buildings, perceived by large fragments and complexes. In this regard, the architecture of residential buildings in the city center should be considered only at the level of a complex or a group of houses (residential street, block). In addition to that an important point of view under study is the fact that the living environment consists of many functional and structural common elements.

The problem of the artistic appearance of residential buildings is also today an object of scientific and creative searches (research work under the leadership of Odessa

scientists-architects was made of projects of residential buildings for the existing areas). However, in these works, the main attention is drawn towards the stylistic characteristics of buildings in the historical center. The current level of assessment and the scale of the forthcoming reconstruction work requires more comprehensive approach to the problem, taking into account in the architecture of the building its urban planning function and the role in the ensemble of the city, a separated building with a space-planning structure of the environment while maintaining a modern interpretation of its artistic appearance [61].

According to the head of the Department for the Protection of Cultural Heritage Objects of the Odessa Regional State Administration Vladimir Meshcheryakov, today there are 12 historical cities and 4500 cultural heritage sites in the Odessa region. In addition, there is one UNESCO site - in the village of Staraya Nekrasovka, Izmailovsky district. As for the historical center of Odessa, the center is included in the preliminary list of UNESCOs.

According to Vladimir Meshcheryakov, in this regard, there are a number of problems that need to be solved. First of all, the limitation of the height of new buildings and the preservation of the traditional character of the historical environments. In this regard, at the initiative of the regional state administration, "... in December last year, a meeting of the working group on the illegal construction of multi-storey residential buildings in the central historical area of the city of Odessa was organized with the participation of the Ministry of Culture, the public and local authorities for the protection of cultural heritage." It was decided to take measures to suspend illegal construction. The minutes of this meeting were sent to the Prosecutor General's Office, the State Architectural and Construction Inspectorate and the Ministry of Culture.

According to Vladimir Meshcheryakov, this issue will be brought up at a meeting of the expert council under the Ministry of Culture, which is tentatively scheduled for February 25. One of the issues that will be discussed there is the lack of permission from the Ministry of Culture for this construction. This, according to the regulation on historical areas, should have been obtained. Note that, according to V.

Meshcheryakov, based on the width of the streets in the historical area of Odessa (on average, about 30 meters), the height of new buildings in the center of the quarter should not exceed 18.6 meters, and at the corners of the blocks - 21.3 m (about 5-6 floors). As for the new buildings inside the courtyards, according to the clause on the preservation of the traditional character of the historical environment, they should not be visible from the outside.

Systems' analysis has become the property of architectural science relatively recently. His main positions in the last 15-20 years were reflected in the works of I.P. Hnes. In the studies of these authors, the most important and general issues of urban planning, urban infrastructures, their transport systems, and settlement systems have been worked out. The issues of the artistic appearance of cities from the standpoint of systems' analysis are considered only in separate works of V.I. Timofeenko [62].

The intensity of new housing construction in the central core of Odessa determines, in addition to an individual creative approach, the need to create a number of general methodological developments aimed at preserving the integral historical systems of the center through their artistic interpretation in synthesis with modern architecture.

The significance of the results obtained lies in the determination of scientifically grounded principles of architectural and planning tools for the formation of a holistic appearance of the multi-temporal residential environment of the center of a large city in the development of a general problem of creating an ensemble perception of the city as a whole.

The methodological foundations presented in the work open the way for the development of further research towards the transformation of historical blocks. The proposed method can be used by the architectural workshops of Odessa Gorstroyproekt during the reconstruction of residential quarters blocks as a pre-design stage of work required for construction in a historical environment. In addition, the developed methodology is recommended for use in teaching students of architecture universities who carry out term and diploma projects to create new residential complexes in the existing areas of the city center [63]. Revealing a general approach to the architectural

and planning combination of residential buildings of different times, as well as the listed possibilities of introducing the main provisions of the methodology determine the practical value of the this research.

The study substantiates the possibility of using the systemic method in the study of architectural-planning and compositional-spatial problems of the formation of housing architecture. This made it possible to consider the living environment of the city as an architectural and planning system. After analyzing the fulfillment of the connections at the system object, the following are identified: Internal connections between the elements of the primary building system of a street, a block, ensuring their development as a whole; connections mean the means of combining buildings, the volumetric-spatial structure, the degree of plasticity of buildings, the presence of dismemberment in height, the unity of the principles of facade composition, scale relationships, the possibility of permissible differences [64]. External links that determine the interaction of the primary building system with the external environment and determine: the relationship between the elements of the system and single buildings of other systems; the relationship of the detailed system with the environment; the possibility of entering the system of a street, a quarter block and another more complex structured system of a district, a city; relations and connections that arise between equivalent primary systems.

The conducted historical analysis of the urban planning situation showed the emergence of certain types of homogeneous residential systems at each stage of the city's development - estate-courdoners, estate-perimeter, perimeter, handicraft-suburban [65]. The inevitability of constant interaction of building elements of different types in the structure of the developing center made it possible to single out as the main residential system of the large historical city of Odessa - a separate and mixed type building system.

In the course of the research, based on the study of the conditions of residential buildings, streets, blocks in the history of the development of Odessa, it is planned to formulate the principles of the successive interaction of different-time residential formations in the system of streets and cities. Systemic interconnection of two or more

types of residential buildings, each of which has a sufficient number of elements and is a complete system. As a result of this interaction, a system of a separate or mixed type is formed, which has a set of system characteristics. The interrelation of elements is carried out both in the longitudinal and transverse directions, visually perceived street space [66]. The contour of the street obeys the dominant town-planning accents and the center of the city of Odessa.

1.5 Психологічні аспекти безпеки праці в будівництві

Розглядаючи стан психології охорони праці, психології безпеки праці, її застосування у виробничій практиці можна констатувати той факт, що при оцінці рівня організаційної небезпеки, наприклад при заповненні контрольних карт, більш повно висвітлюються питання технічної відповідності обладнання, машин і механізмів вимогам безпеки. Приділяється увага до питання наповнення виробничих ділянок інструкціями і їх проведенням, навчання виробничого і інженерного персоналу, проведення медоглядів, забезпечення засобами індивідуального захисту, виконання заходів з охорони праці, виконання вимог нормативно-правових актів щодо проведення випробувань обладнання виробничих ділянок, опускаючи, або не надаючи великого значення психологічним аспектам охорони праці, безпеки праці.

З статистики виробничого травматизму відомо про 70% причин, які викликані “human” фактором. Тому, в роботі, висвітлені аспекти психології безпеки праці на фоні зростання ризику виробничого травматизму. Це є важливим в необхідності зниження травматизму, підвищення якості життя працюючих і виконання цілей виробництва галузей господарювання.

Використання методів психології безпеки праці дає можливість уникнути значних збитків в людському і матеріальному плані, підвищити точність при оцінці рівнів виробничого ризику.

Значимість роботи полягає у висвітленні питань безпеки праці в контексті психології безпеки з позицій системного підходу - прикладного системного аналізу.

Метою даної роботи було виконати аналіз з формуванням висновків щодо ефективності запропонованих існуючих психологічних прийомів і методів та запропонувати можливі шляхи удосконалення форми управління безпекою праці в будівництві;

Психологія безпеки - це галузь психологічної науки, що вивчає психологічні причини нещасних випадків, що виникають в процесі праці та

інших видах діяльності, та шляхи використання психології для підвищення безпеки діяльності.

Об'єктом дослідження психології безпеки є різні види предметів діяльності, які пов'язані з небезпекою.

Психологія безпеки вивчає застосування психологічних знань для забезпечення безпеки діяльності людини. Психологією безпеки розглядаються психічні процеси, властивості і особливо аналізуються різні форми психічних станів, які спостерігаються в процесі трудової діяльності.

У психічній діяльності людини розрізняють три основні групи компонентів:

- 1) психічні процеси;
- 2) властивості психічних процесів;
- 3) стан психічних процесів.

Правомірним є принципове питання: чому люди, яким притаманний природний інстинкт (рефлекс) самозбереження, так часто є винуватцями аварій, травматизму, нещасних випадків і катастроф [67].

Психічно нормальна людина не прагне самознищення (самотравмування) і її неправильна поведінка і порушення правил безпеки (ПБ) викликається зовнішніми побудниками [68].

Вищевикладене досить переконливо вказує на необхідність врахування аспектів психології безпеки і використання їх рекомендацій в системі охорони праці, при професійному відборі і професійному навчанні.

Водночас на будь-який з компонентів процесу праці (в тому числі і на людину) діють зовнішні чинники різної природи та інтенсивності. Вони можуть частково компенсуватися, але можуть і підсилювати один одного. До тих пір, доки інтенсивність чинників порівняно невелика, можна вважати рух виробничого процесу нормальним. Але якщо інтенсивність чинників, хоча б по одній компоненті, перевищує якийсь «критичний» рівень, починається взаємне посилення чинників і процес виходить за рамки нормованих значень. При цьому виробнича небезпека швидко зростає в десятки, сотні і тисячі разів [67].

На жаль, існуюча система професійного навчання орієнтована на вивчення технологічних процесів при їх нормальному перебігу і вкрай рідко в її межах вивчаються можливі екстремальні варіанти технологічних процесів у взаємодії з персоналом (це ми розглядаємо при логічному імовірному моделюванні виробничих ситуацій ризику нещасних випадків).

Психологія безпеки праці в будівництві може застосовуватися там, де необхідне роз'яснення питань пов'язаних з навчанням, накопичення процесів функціонування і використання інтелектуальних ресурсів; питань, що стосуються комфорту при виконанні працівниками своїх трудових обов'язків і виконання важкої фізичної або напруженої розумової праці при дотриманні рекомендацій щодо поліпшення працездатності без психофізіологічних зривів [69].

В сучасних умовах є необхідність до залучення сертифікованих кваліфікованих фахівців-психологів, які будуть покликані:

- виконувати посередню функцію між керівником і виконавцями;
- планувати діяльність і можливо попереджувати психологічні про- блеми;
- будуть вести пошук необхідних коштів і ресурсів для найкращого досягнення основних цілей: підвищення ефективності психологічних прийомів при зменшенні конфліктності, значних витрат часу на виконання виробничих завдань, поліпшення ефективності на вирішення завдань керівника.

- контроль за чітким виконанням технологічних прийомів, витрат механічних і енергетичних, розширення засобів і прийомів, збільшення зацікавленості працюючих;

- вивчення характеру діяльності з виявленням професійних компетенцій (складанням професіограм найманих працівників);

- усунення відхилень з подолання емоційних зривів, виходу з кри-тичних станів і т.п.

При вирішенні практичних завдань по ефективному управлінню на виробництві, як правило, зустрічаємо необхідність у визначенні зміни психологічної задачі і обрання параметра, який буде критерієм ефективності (оптимальності) рішення, і в якому напрямку буде змінюватися значення цього

параметра (до максимуму або мінімуму) при наявності відповідно позитивних і негативних проявлень психіки людини. Також необхідно враховувати обмеження на рішення професійно - орієнтованих завдань, ступінь придатності методик психодіагностики та відповідних програм. Також необхідно враховувати умови щодо зміни психологічного запиту на вирішення завдань навчання і мотивації працівників, які повинні бути виконані.

Тому в сучасному виробництві необхідно вирішувати безліч поточних питань і завдань, наприклад:

- дослідження працездатності працівника, її фазових коливань;
- вивчення стійкості, концентрації і переключення уваги і рухливості нервових процесів;
- процесів сприйняття і відтворення;
- рівня розвитку інтелекту в процесі навчання та проведення занять з охорони праці для персоналу;
- механізмів виникнення тривожності, розвитку негативних психічних станів, агресивності, внутрішніх конфліктів і т.п.

Існуючий багаж психології безпеки дозволяє попередити негативний вплив виробничих процесів на психіку працівників, розвиток психологічних травм, нервових зривів, стресових факторів.

У літературі, присвяченій психології безпеки використовується поняття психічної надійності (фізіологічна і психологічна) - здатність людини зберігати в часі і в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування [67,73].

До компонентів психічної надійності людини можна віднести: емоційну стійкість, мотивацію, стабільність виконання завдань, саморегуляцію, емоційну стійкість тощо.

Безпосередньо до компонентів фізіологічної надійності людини відносять рефлекси (в першу чергу - безумовні) і аналізатори.

Компонентами психологічної надійності, які в тій чи іншій мірі характеризують її (стійкість, довговічність, відмова, знос, збій, напрацювання, безвідмовність) є - пам'ять, воля, емоції, увага, мислення, обережність, потреби, здатність, сенсомоторні реакції.

В процесі роботи на будівництві необхідно бути: уважним, виявляти вольові якості. Працівник часто переживає стани активності, зосередженості, зацікавленості, психологічно інваріантної і індеферентної напруги. Також можуть бути випадки проявів депресії, неуважності, нудьги, втоми, відсутності зацікавленості, апатії до того, що відбувається навколо, загального невдоволення процесом праці.

Тільки працівник, який характеризується досить високими показниками компонентів психічної надійності може виробляти властивості, що дозволяють стабільно і ефективно виконувати виробничі завдання (трудові рішення, операції, прийоми) і підтримувати функціональний стан організму на одному рівні на протязі певного часу.

Необхідна: чесність, турбота про людей, їх працездатність і здоров'я, можливість до об'єктивного оцінювання людей їх психологічних характеристик: характеру, темпераменту, психологічних процесів і станів, психофізіологічних проявів в процесі виконання трудових обов'язків, необхідність тримати дане слово, вміння давати об'єктивні поради, тактовність, ініціативність, розсудливість, оперативність при прийнятті рішень, виконань і доручень керівника, пунктуальність.

В процесі праці необхідно чітко розрізняти потенційні та реальні небезпеки або по іншому травмонебезпечні джерела щодо пошкодження людини.

Потенційна небезпека - небезпека, яка має прихований, неявний характер і яка проявляється в непередбачуваних умовах.

Виробничі ризики можна розділити на дві групи:

- небезпечні умови - умови, що характеризують стан обладнання, приміщення, доріг, стан організації виробництва, включаючи і професійний

рівень працюючих або умови, при яких небезпечний виробничий фактор може діяти на працюючого (при цьому він вважається потенційним);

- небезпечні дії працюючих - дії, які в конкретних умовах виробництва суперечать науково - обґрунтованих норм професійної поведінки включаючи і помилки, що призводять до небажаних наслідків.

З наведеного вище видно, що виникнення травмонебезпечної ситуації як правило, обумовлено безпосередньою наявністю людини і небезпечного фактора в одній точці простору, небезпечній зоні. Наприклад, апріорі можна стверджувати про безпеку для людини при виконанні наступних технологічних операцій і процесів в будівництві: різання (круглі і ланцюгові пили, свердлильні інструменти ручні), зрізання (механічні або пневматичні ножиці), штампування, формування, стругання, фрезерування, гнуття при вставці, утриманні і виїмці матеріалів, шліфування тощо.

Між небезпечними умовами і небезпечними діями є взаємодоповнюючий зв'язок. Наприклад, небезпечна умова може бути причиною небезпечного впливу, коли конструктивні недоліки машин можуть викликати втручання обслуговуючого персоналу у роботу машин, з порушенням при цьому правил безпеки праці. Тут небезпечне діяння виникає внаслідок існування небезпечної умови. Може бути протилежна ситуація - коли відповідальна за конкретну ділянку робочої зони, машини, обладнання людина допустила небезпечне діяння, а несправна машина стає небезпечною для виникнення нещасних випадків або аварій.

У кожній дії людини психологи виділяють три частини:

- мотиваційну;
- орієнтаційну;
- виконавчу.

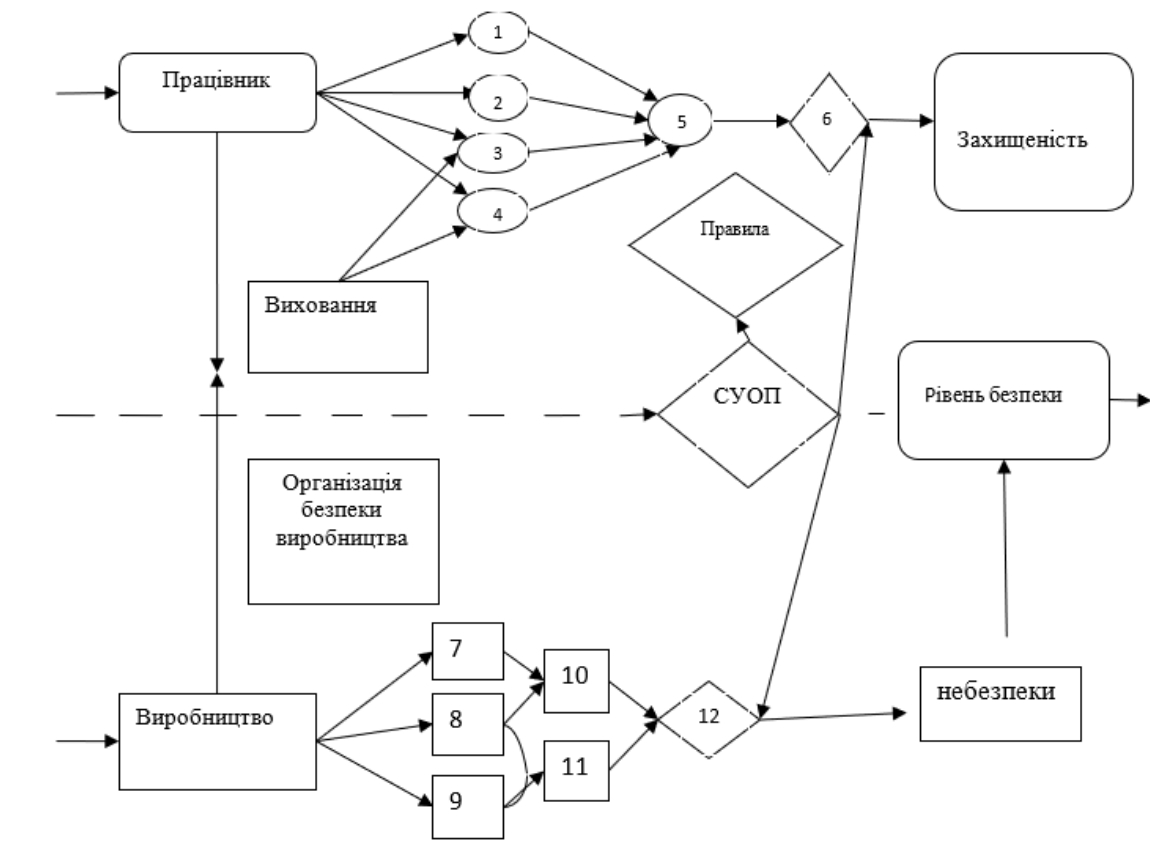
Особливе місце в структурі особистості займає мотиваційна сфера, тобто (установки, потреби, інтереси, орієнтації). Незважаючи на існування численних теорій, єдиного погляду на теорію мотивації на сьогодні ще немає. Мотивація визначає поведінку людини, торкаючись всіх сфер психічної діяльності. Мотиви

виступають як спонукання і спрямовуюча сила, яка реалізує потреби людини, виступає організуючим фактором її життя і діяльності. Характер мотивів, їх спрямованість, інтенсивність, стійкість, широта, дієвість - визначають успішність оволодіння професійною діяльністю і її ефективність [71].

Порушення мотиваційної частини дії полягає в постійному або частковому небажанні виконувати певні дії або операції.

Самооцінка є судженням людини про свої можливості, властивості, поведінку у порівнянні з певним еталоном, зразком. Самооцінка є основним структурним компонентом самосвідомості, проявом оцінного ставлення людини (самокритичністю).

На рисунку 1 представлені прямі та зворотні зв'язки, які призводять до фактично досягаемого рівня безпеки.



1 -безумовні рефлекси самозбереження; 2 – психофізіологічні якості та стани; 3 – професійні навички та вміння; 4 - мотиви праці та безпеки; 5 – захищеність; 6 – ЗІЗ; 7 – роботи з підвищеною небезпекою; 8 - додаткова небезпека; 9 - Поточні роботи; 10 – висока небезпека; 11 – невисока небезпека; 12 – стаціонарні засоби захисту

Рисунок 1. Схема факторів, що визначають безпеку праці

На прикладі, дослідимо проблему травматизму на підприємстві з виробництва бетонних плит.

При розробці моделі аналізованої системи безпеки необхідно врахувати всі компоненти, що змінюються в досліджуваному процесі.

Відбір для конкретного аналізу одного з рівнів структури і зв'язків його з другими рівнями залежить від розв'язуваної задачі. Обрана система повинна привести до вирішення поставленого завдання, не ускладнюючи його надмірно, але і не випускаючи з виду її сучасних особливостей, що виникають внаслідок взаємозв'язків між рівнями.

Дуже складно зрозуміти об'єктивний факт, чому з року в рік підвищується кількість нещасних випадків в будівельних організаціях, які перевищують допустимі величини ризику при навіть невеликій кількості працівників, а також сприяють зниженню прибутків по роках і зростання підвищення вимог керівництва при необхідності вкладання фінансів у нове розширення виробництва з будівництвом нових виробничих будівель.

У першому наближенні маємо, що можливо причина в психологічних проявленнях реалізації небезпек в небезпечні ситуації. Наприклад, це може бути небажання виконувати дії, робочі прийоми, операції, незнання правил і норм безпеки, невідповідність фізіологічних, психофізіологічних особливостей працівників обсягами виконуваних робіт або навантаження на сенсори і аналізатори, що призводить до посилюючих наслідків тяжкості і напруженості праці. Водночас значні динамічні перевантаження призводять до порушення координацій рухів, багаторазових повторюваних помилок, зниження уважності, що веде до браку продукції, нагнітання невдоволення керівної ланки підприємства, наростання конфліктних ситуацій.

На жаль на багатьох подібних підприємствах рівень індивіда і його можливості на підприємстві - наймані. Дуже важкі умови праці - але зарплата підвищена, низький духовний рівень незацікавлених у відповідальності за власну безпеку і безпеку оточуючих працівників.

Працівники завжди спізнюються, відпрошуються у майстра, не хочуть йти на роботу де керівництво кричить і знижує частину заробітної плати і премій. Проблемою є недостача часу, наявність стресових ситуацій, що призводить до збільшення виробничих хронічних рецидивів з важкими наслідками травматизму різного ступеня шкоди - від порізів, ударів до важких травм кінцівок.

Часто працівники скаржаться на розвиток професійних захворювань, погіршуючи здоров'я, розвиток респіраторних патологій через погані умови праці. Незрозуміла відсутність бажання у керівників щодо розробки заходів і вдосконалення існуючих методів поліпшення умов праці при наявності фінансової та виробничої можливості це зробити.

Нам потрібно відповідно дану напругу в колективі усунути і постаратися дати рекомендації на основі оптимального рішення про недопущення травм робітників будівельного підприємства при виконанні своїх безпосередніх обов'язків на робочих місцях.

Необхідно знайти процеси які є найбільш травматичні, де взаємозв'язки перериваються, де потоки перетинаються, ліміти і дефіцит часу, обмеження виробничих потужностей які впливають.

Розглянемо суб'єктивні оцінки кожного з учасників проблемної ситуації. Використовуємо метод групового формулювання Дж. Ворфілда, тобто потрібно відповісти на питання «Які проблеми Ви бачите в цій проблемній ситуації?». Це дозволить виявити сукупність взаємопов'язаних загроз, що може привести підприємство до катастрофічних наслідків, якщо воно буде продовжувати діяти далі з появою нових проблемних ситуацій і ігноруванням необхідності якісних змін.

Об'єктивно причинами травматизму є:

- зростання ціни помилок персоналу;
- адаптація до небезпеки;
- відсутність природних механізмів захисту від шкідливих або небезпечних прояв виробничих факторів: шуму, вібрації, освітлення, мікроклімату, електричного струму, електростатичної напруги і т.п.

Працівники вказують на наступне:

- неможливість домовитися з керівництвом;
- відсутність взаємозв'язку;
- можливість і страх звільнення працівників старшого покоління, яке не справляється зі своїми обов'язками;
- відсутність мотиваційної складової виробничого процесу (відсутність мотиву задоволення від робочого процесу, своєї значущості і цінності для керівного складу підприємства);
- відсутність навичок безпечного використання обладнання без нанесення травм різного ступеня шкоди;
- відсутність «корпоративного духу» в колективі;
- відсутність обліку біоритмічних типів працездатності (працівників «ранкового» типу ставлять на виконання робіт в вечірню зміну і навпаки).

Розвиток проблеми може бути в погіршенні виробничої обстановки, збільшенні кількості організаційних причин травматизму (через відсутність належного контролю за виконанням робіт на робочих місцях - робочі часто надані самі собі що дуже часто призводить до аварії в поспіху з вини працівників), технічні відмови устаткування, зупинка головного обладнання - підприємство несе годинні збитки до десятків тисяч гривень, збої в харчуванні і відключення електроенергії).

Можуть відбуватися навіть аварії в системі опалення, водопостачання через механічний зноу, пожежі через відсутність захисних пристроїв, що перекривають доступ пилу до прокладених в приміщеннях цехів бетонного виробництва енергосилових кабелів, погіршення якості електропроводки, відсутність нових і модернізації наявних засобів колективного захисту працівників від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, відсутність систем автоматичного контролю рівнів небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочих місцях.

Відомо, що знижуючи рівень травматизму, підвищується економічна ефективність виробництва. Для цього потрібно визначитися з показниками критеріїв.

Критерієм ефективності вирішення ми вибираємо розподіл (розподіл працівників по ділянках, робочих змінах, по відпустках відповідно до психологічних критеріїв схильності до нещасних випадків - стать, вік, стаж, психофізіологічні - стреси, схильність до ризику, стомлюваність), що буде впливати на максимально можливу кількість виготовленої продукції за видами при обмеженні по собівартості кожного виду і витратах на виготовлення, трудомісткості робіт, виробничій потужності підприємства, продуктивність при зниженні травматизму

Якою б правильною не була організаційна структура підприємства, організація роботи всього персоналу та окремо, її постійно потрібно вдосконалювати, адаптовувати до нових умов.

Доцільно, щоб керівник відповідав, враховуючи специфіку підприємства за безпеку праці найманих працівників, проводив поліпшення умов праці в контексті санітарно - гігієнічних вимог і в матеріальному плані. В такому випадку турбота про прибуток стане головною метою всіх членів трудового колективу.

Пропонуємо також ще один метод підвищення ефективності - при використанні бригадної організації праці. Він полягає в тому, що за станом і поліпшенням ефективності при виготовленні продукції та умовами праці на кожному робочому місці стежать всі члени підприємства і несуть колективну матеріальну відповідальність за порушення методів праці та індивідуально кожним членом. При цьому кожен член колективу зацікавлений у виконанні всіх запланованих вимог плану роботи підприємства на своєму робочому місці і на ділянці, де працює колектив протягом всього робочого дня.

Цей метод дає можливість на практиці оволодіти вимогами на різних робочих місцях. За успішне виконання показників програми та успіхи у виконанні вимог колектив матеріально і морально стимулюється.

Здається, що наявність проблеми пов'язаної з відсутністю планів розвитку підприємства у зв'язку з людськими ресурсами (на підприємстві дуже велика текучка кадрів і нові не дуже поспішають - багато нових працівників не витримували виробничого ритму навіть в режимі стажування до одного тижня). Наймати не поспішають працівників, а ті що є потрапляють в «сезонні» хвили підвищення попиту на продукцію, що і призводить до травматизму і зниження доходів підприємства. Також ненормативне і більше за межі психофізіологічних можливостей працівників навантаження обсягів виробництва веде до збільшення кількості браку, списуванню сировини, розриву контрактів із замовниками з відсутністю залучення нових.

Виходячи з вищесказаного, потрібно міняти стиль управління виробництва, використовувати наведення більш тісного контакту директорів з керівниками, перегляду «підпорядкованих» відносин.

Тому ми з дерева цілей виявляємо ті, які відповідають наступним трьом критеріям:

- збільшити вимоги до найманих працівників з проведенням психофізіологічного відбору у відповідних інстанціях і залученням інспекторів по оцінці умов праці;

- підвищення кваліфікації працівників, зниження надмірної вимогливості майстрів з показом основних технологічних прийомів на ділянці робіт, лінії при зниженні навантаження;

- зниження навантаження на аналізатори та сенсорні системи з підвищенням рівня і якості умов праці;

На основі статистичних даних в таблиці 1 наведемо аналіз нещасних випадків в будівельній організації в психологічному аспекті.

Статистичний аналіз нещасних випадків в організації

№ п/п		Умовні позначення	Кількість
1	Професія	A1	14
		A2	9
2	Дата	З	6
		В	6
		Л	5
		О	8
3	Вид травми	Г	0
		Зр	2
		Н	8
		Т	2
		Р	9
4	Причини травми	B1	4
		B2	1
		B3	8
		B4	11
5	Вік	До 20	2
		20-30	10
		30-45	8
		45-60	5
6	Стаж	До 1 року	4
		1-15	15
		15-40	6
7	Стать	М	24
		Ж	1

1. Професія: А1 - висока кваліфікація, основна виробнича одиниця, дефіцит працівників; А2 додаткові роботи (низька кваліфікація).

2. Дата: З- зима; В-весна; Л-літо; О-осінь.

3. Вид травми: Г- голова; З - зір; Н-нога; Т-тулуб; Р- рука.

4. Обставини травми: В1 - відмова основного обладнання або інструменту; В2- відмова або відсутність системи захисту; В3 - порушення правил безпеки праці; В4 - недостатній контроль за виконанням робіт.

На рисунках 2,3 вкажемо на можливі порушення та підсилювачі помилок.



Рисунок 2. Порушення виконавчої частини дій

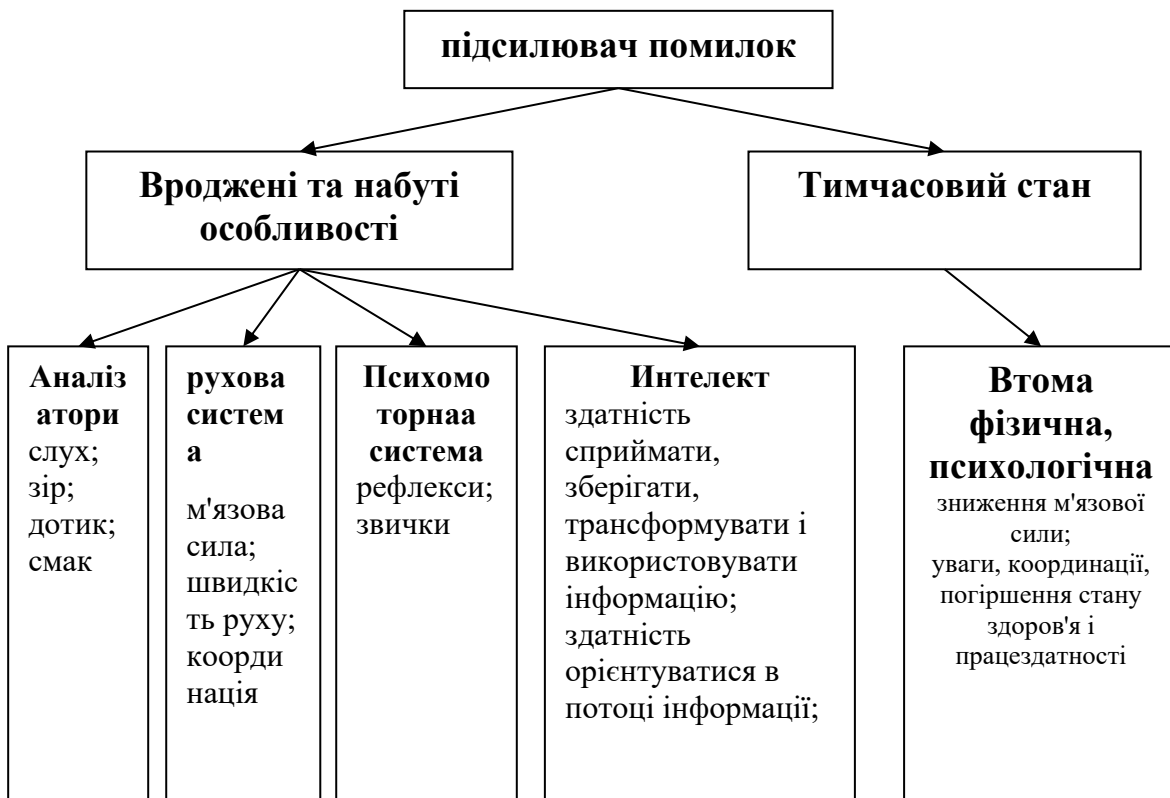


Рисунок 3. Механізм спонукання людини до скоєння помилок

Видно з таблиці 1, що в будівельному підприємстві нещасні випадки стаються з жінками рідше (враховуємо, що на даному підприємстві все ж більше чоловіків працює), хоча вони роблять більше і тяжкість наслідків травматизму для них більше. Найбільш виробничому травматизму піддаються працівники у віці 20-30 років (це відповідає загальній статистиці), але в даному випадку і високої кваліфікації, хоча відомо, що ненавчений, що не має достатнього досвіду і навичок робочий, навіть має високий рівень розумового розвитку, діє, як правило, небезпечно. При цьому багато нещасних випадків, за звітний період, відбулося восени. Основною причиною травмування є організаційна причина - недостатній контроль за виконанням робіт.

Найбільш часто відбуваються травми рук і ніг. У групі високого ризику знаходяться чоловіки віком від 20 до 30 років зі стажем до 15 років.

Практична цінність викладеного методу мотивації полягає, перш за все, в тому, що він дозволяє порівняно легким шляхом отримувати кількісні оцінки, що характеризують рівень мотивації робітників до використання окремих засобів захисту, і виявляти джерела подібної мотивації. Такі об'єктивні оцінки можуть служити хорошою підставою для того, щоб спростувати упереджене ставлення окремих робочих до дійсно вдалим засобів захисту і, навпаки, переконливою підставою для постановки питання про заміну недостатньо досконалих засобів. Очевидно, на основі умовних або інтуїтивних висновків подібна постановка питання не була б можливою.

Відомо, що навіть дуже невелика помилка в узгодженні людини і машини може стати причиною нещасного випадку.

Це свідчить про те, що для різнобічного вивчення трудової діяльності необхідний підхід, який здатний синтезувати в собі досягнення ряду наук, які вивчають трудову діяльність людини з різних точок зору, тобто ергономічний підхід.

На жаль "зручні" знаряддя праці не завжди означають найкращі з точки зору безпеки і завдання шкоди людині. Інформацію такого роду можна отримати шляхом безпосереднього спостереження за одним, а краще групою

працівників, що виконують роботу з відповідними засобами виробництва. Протягом процесу праці з'являється певний зв'язок, що дозволяє розділити роботу на відповідні елементи. Деякі зв'язки важливіші за інші, хоча і відіграють незначну роль в процесі праці.

Тому з'являється поняття значимості або важливості зв'язків, а звідси і можливість правильних висновків і рекомендацій працюючим при використанні коштів підприємства, які потенційно або реально можуть бути небезпечними, що і становить проблематику в даній сфері.

До цього часу ця тема носить відкритий характер для обговорення і вимагає великої уваги в сфері безпосередньо наукових досліджень з рекомендаціями працівникам або користувачам будівельного обладнання, розробки методологічних підходів до вивчення даної проблематики з виділенням факторів впливу, їх регресивного впливу і можливості репрезентативності отриманих даних.

Психологія безпеки праці дозволяє систематизувати наявні на сьогодні дані в цій сфері, виділити фактори впливу та запропонувати можливі шляхи досліджень в даній сфері.

Відомо, що визначення оптимального розміщення органів управління, тобто вирішення систем діяльності людини математичними розрахунками є трудомістким. Тому використовують графічний метод. Тут не беруться в розрахунок другорядні елементи. Складається діаграма, на якій позначаються головні зв'язку «людина - засоби виробництва» з подальшим визначенням основних. І це буде оптимальним рішенням проблеми.

Відомо також, що в системі «людина - засоби виробництва» можна виділити три основні функції: функцію входу, що забезпечує введення інформації до органів відчуття людини; функцію управління, здійснюваного центральною нервовою системою людини; функцію виходу, яка найчастіше реалізується за допомогою сенсомоторних органів і м'язової системи людини.

Якщо між входом і виходом відсутній безпосередній зв'язок, то така система діє як незамкнений контур. Якщо ж вихід може впливати якось на вхід, то це - замкнутий контур, в якому людина грає роль керівного елемента.

Нами розглядаються два види процесів: переробка інформації і управління. У всіх процесах можна виділити три етапи:

- сприйняття інформації шляхом безпосереднього спостереження за показниками приладів (відповідно потрібно провести моніторинг);
- трансформація отриманої інформації здійснюється в центральній нервовій системі і призводить до прийняття певного рішення (рішення може бути і в тому, щоб в даній ситуації нічого не робити); на характер рішення, його правильність, на швидкість прийняття впливають не тільки інформація, яка надходить ззовні (від засобів виробництва або із зовнішнього оточення), але і внутрішня інформація; внутрішня інформація надходить з пам'яті, де міститься отримана раніше інформація і інструкції;
- видача прийнятого рішення виконавчим органам і виконання (проведення) цього рішення.

При розгляді конкретних систем взаємодії між людиною і засобами виробництва, можна виділити наступні етапи:

- аналіз системи в цілому і розподіл її на окремі підсистеми (функції); оптимізація умов взаємодії між окремими засобами або їх комплексом і людиною, що контактує з ними (з іонізуючим випромінюванням);
- при розробці нових конструкцій або пристроїв або проектуванні нових приміщень рекомендується досліджувати нові рішення;
- визначення послідовності виконуваних операцій в кожній окремій підсистемі з вказанням необхідної кваліфікації і досвіду, а також можливих специфічних ускладнень;
- розробка методики найшвидшого навчання і підготовки, якщо робота вимагає спеціальних знань; необхідність врахування соціальних умов, адаптації до умов праці і т.д.

Як відомо психологія безпеки дозволяє запропонувати методи і прийоми в сфері психічного існування людини при конкретних подіях, екстремальних ситуаціях.

Розглядаючи стан психології безпеки в сучасних умовах при використанні методів психологічного впливу ми розглядаємо три стратегії впливу: маніпулятивну, імперативну (яку доцільно застосовувати в динамічному режимі для реагування на екстремальні ситуації) і розвиваючу, що має довгострокову природу, але в контексті управління яка утворює ефект, а не як порушення цілісності психологічної безпеки суб'єкта на якого впливають, тобто є альтернативою залучення працівника до самостійного прийняття рішень оптимізації в сферах його діяльності.

Також розглядаються три рівні управління на можливі наступні реакції: підпорядкування (отримання винагороди, наприклад при впровадженні стимулювання нашої організації безпечної діяльності - встановлення розмірів матеріальної винагороди, заходи матеріальної відповідальності для осіб, які порушують правила безпеки), ідентифікація, інтернаціоналізація - більш глибоке засвоєння цінностей і поглядів, впевненість у чомусь при наявності рефлексії психологічної життя. На рисунку 4 представлена концептуальна модель управління з описом реакцій на можливі стратегії впливу при конкретних рівнях. Також представлені ідентифікація і підпорядкування, як внутрішні елементи системи моделі інтернаціоналізації. При використанні на практиці моделі передбачається в процесі впливу на активність інформування та рівень психологічної культури взаємовідносин.

Так як мова і мислення - складні системи на які можна впливати метою програмування поведінки людини, то при реалізації поєднуються два підходи або орієнтуватися на свідомий вибір і волю тих з ким взаємодіють, або створити певний ефект в поведінці і діяльності, минаючи етап критичного осмислення і власного волевиявлення.

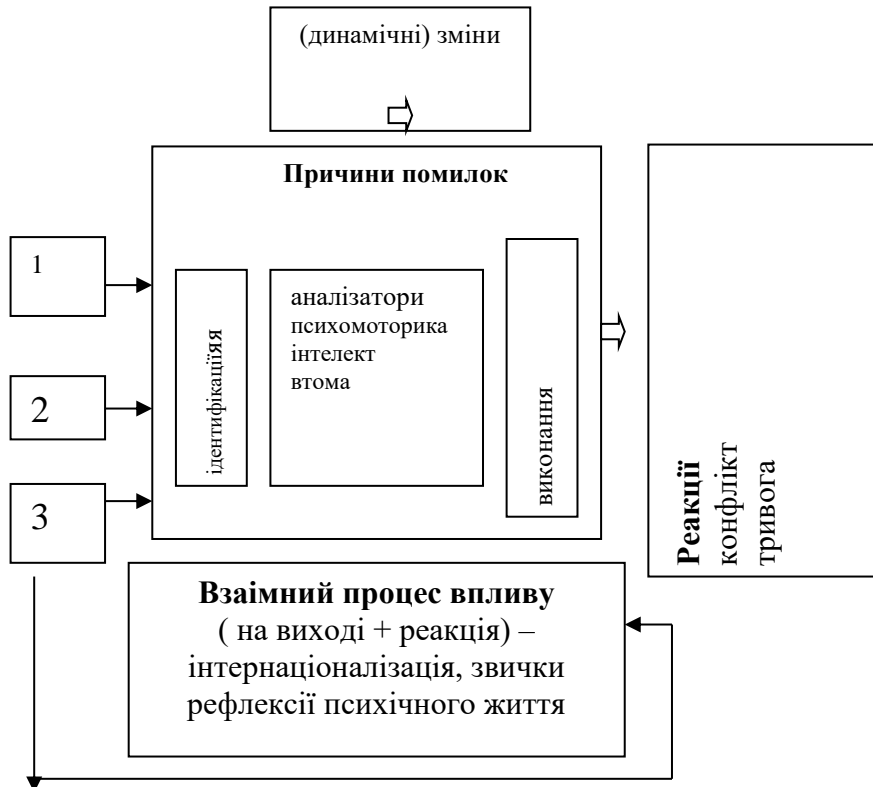


Рисунок 4. Схема моделі управління в системі взаємовідносин «керівник - працівник»

Спектр управління пропонує застосовувати відповідні аналогії логічних критеріїв. Найбільш поширені в світі правила безпеки - сукупність логічних критеріїв "так" або "ні", тобто виконуються вони в даний момент чи ні - поява або відсутність ризику. Відповідно, по таких механізмах можна вдало слідкувати за ефективністю використовуваних методів психологічного впливу. До них ми відносимо ті, які можуть вдало адаптуватися до видів і виробничих ситуацій: зараження, пристосування, створення психологічного настрою методами підвищення рівня індивідуальної захищеності, переклад смислів, ідентифікація з суб'єктом на якого впливають, дозволом його характеристик згідно методик нейролінгвістичного програмування за параметрами аудіовізуалізації, кінестетичні, що мають наслідковий характер за поведінкою, вчинками та розкриваючими їх природу.

Управління та маніпулювання розглядається в контексті забезпечення особистої безпеки. Управління як мотив (на рис.4):

1 - нейтралітети на виході при спробі здійснення утворюють толерантні зобов'язання; управління, несе негативні реакції

2 - тривога, конфлікт, реактанс, когнітивний дисонанс, пригнічена самооцінка, посилення на еквівалент, фрустрація;

3 - втрата власного досвіду або переоцінений еквівалент професійних знань керівника призводить на негативні посилення на виконання робочих завдань згідно штатних нормативно-правових обов'язків. Виходять з апріорного рівня впливу на інтелект суб'єкта при оптимізації запропонованих рекомендацій, правил техніки безпеки та повинні узгоджуватися з реакцією на сприйняття, відтворення, виходячи з факту, що зростання числа порушень пропорційне зростанню кількості пунктів правил безпеки.

Основною метою розроблених положень в концептуальній моделі при управлінні і використанні методів психологічного впливу - досягти поєднання оптимізації впливів при наявних умовах, характеру діяльності з психологічними і психофізіологічними характеристиками суб'єкта діяльності.

Система охорони праці на виробництві повинна сприяти організації навчання безпечної роботи, виконання правил охорони праці та контролювати готовність техніки та людей до безпечної роботи, здійснювати програму безпечної роботи, включаючи пропаганду і використання навчання.

Ідентифікація, інтернаціоналізація - більш глибоке засвоєння цінностей і поглядів, впевненість у чомусь.

При порушенні безпеки праці мотиваційна частина дії полягає в постійному або тимчасовому небажанні виконувати конкретні дії або операції через конфлікт безпеки і матеріальної вигоди [73].

При реалізації існує два підходи: перший- мають орієнтуватися на свідомий вибір і волю тих з ким взаємодіють і другий - викликати певний ефект в поведінці і діяльності, минаючи етап критичного осмислення і власного волевиявлення реципієнтів.

Основною метою розроблених положень до концептуальної моделі при управлінні та використанні методів психологічного впливу є необхідність

досягнення взаємної оптимізації впливів у конкретних виробничих умовах, характері діяльності з психофізіологічними характеристиками суб'єкта діяльності - працівника, персоналу.

Примітно, що ї[невикористання пов'язане з фізичною небезпекою найвищої тяжкості. І зумовлено це головним чином тим, що ці психологічні «способи» захисту сильніший за всі інші (між «слабко» і «сильно») які навпаки підвищують тяжкість праці.

Необхідно приділяти увагу застосуванню теорії динамічних систем - безперервні та динамічні впливи. Проблема - важко оцінити кількісні характеристики у вираженні відповідних кількісних, наприклад складова фізичного стану аналізаторів рухової та психомоторної системи перевірки медичне, навичок за допомогою регуляторів, симуляторів, тренажерів,

Як приклад застосування для оцінки безпеки праці у психологічному аспекті логіко-імовірнісного методу надійності технічних систем розглянемо витяги з нормативних документів охорони праці при вантажно-розвантажувальних роботах [8, 9,10] для опису нещасного випадку з міркувань психології безпеки праці.

Розподілимо нормативні пункти за такими порушеннями, які призводять до відповідних причин нещасних випадків: організаційні технологічні, включаючи порушення правил безпеки та контролюючі, технічні.

Організаційні: п. 3.1, 3.4 [74, с.4];

Порушення правил безпеки: Ш.3.5, Ш.3.6, Ш.3.7, Ш.3.12, Ш.8.8

Контролюючі - відсутність контролю за безпечним веденням робіт (п.Ш.1.2, п.Ш.3.8); немає підготовки робочого місця наступної бригади, перевірки стелажів (п.3.10, Ш.3.4).

Технологічні (включаючи проектні, технологічні карти) – п.Ш.3.3, п.Ш.8.20

Технічні:

- погане планування поверхні під складування п. 3.2.3.17 [74];

- відсутність позначень небезпечних зон, огорож, упорів, прокладокмаркування, бірок (п. 3.2, III.3.4, III.8.19, III.8.20) або їх низька якість.

Також є особисті: використання постраждалим неправильних прийомів робіт, недостатня професійна підготовка, нехтування безпекою.

Згідно з обставинами нещасного випадку травмуванню трубою з летальним наслідком (коренева подія – КС) передували три основні події, пов'язані з порушенням нормативних правил: 1 - відсутність безпечної організації завантажувально-розвантажувальних робіт (це є головна причина кореневої події); 2 - вимушена причина знаходження працівника в небезпечній зоні; 3 – знаходження працівника з протилежного боку руху при накочуванні великовагового довгомірного вантажу.

Розглянемо знаходження у небезпечній зоні вантажно-розвантажувальних робіт.

Працівник була змушений увійти в небезпечну зону для виконання службових обов'язків (необхідно було перевірити маркування труб) порушивши III.3.5, III.3.6 (див. [74]) – забороняється перебувати в місцях вантажно-розвантажувальних робіт особам, які не мають прямого відношення до цих робіт з одночасним порушенням блоку контролюючих (організаційних) порушень і порушення: при накочуванні великовагового довгомірного вантажу забороняється перебувати з протилежного боку його руху

Підставою для побудови фрагмента події 1 послужили технічні порушення з боку виконавців з одночасним порушенням технологічних (організаційних) порушень з боку керівних осіб, особливо в аспекті відсутності ознайомлення з технологічною картою №1- та проведення інструктажу.

Підставою для побудови фрагмента події 3 у плані порушення при накочуванні великовагового довгомірного вантажу забороняється перебувати з протилежного боку його руху, що спричинено відсутністю контролю.

При розміщенні вантажів необхідно дотримуватися наступних вимог:

- вантажі, що зберігаються навалом, розміщуються в штабелі з крутістю укосу, що відповідає куту природного укосу для даного матеріалу. При необхідності такі штабелі обгороджуються захисними ґратами.

Ми з'ясували, що КС стався внаслідок збігу у просторі та в часі трьох елементарних подій:

- рух труб при зачіпленні при завантаженні на автомобіль;
- знаходження постраждалого в небезпечній зоні;
- знаходження з протилежного боку при русі і при накочуванні важкого довгомірного вантажу.

Кожна з цих подій – причин викликана такими причинами:

- реалізація необхідного за технологією процесу навантаження труб;
- порушення інструкції та правил безпеки праці при вантажно-навантажувальних роботах.

Друга причина виникла внаслідок таких причин:

- на майданчику з'явився працівник з маркування, але не було чіткого розподілу дій керуючої ланки та працівників у ході виконання технологічного процесу вантажно-розвантажувальних робіт;

- був відсутній проект виконання робіт, у якому для даних конкретних умов необхідно було б, відповідно до вимог норм і правил, передбачити відсутність появи сторонніх людей із зони дії крана на період переміщення вантажів.

Розслідування показало, що обвал труб (1) стався внаслідок невідповідності проекту виконуваних вантажно-розвантажувальних робіт і кріплення умов виробництва робіт, а також у зв'язку з порушенням затвердженого технологічної карти №1 виконавцями, що посилювало передаварійну ситуацію (див. таблиця 2).

Ранжування вихідних подій «дерева»

Ранг події	Число МКК, в яке входить подія	Подія	Опис події
1	3	3	Нехтування безпекою
2	2	2	Реалізація прийнятої технології виконання робіт з порушеннями
3	2	1	Недоліки плану виконання робіт

На основі проведеного ранжирування можна зробити висновок, що основними подіями, що призвели до нещасного випадку, є події - порушення зі сфери функціонування (організаційні - (порушення правил безпеки)), а головною причиною КС - відсутність безпечної організації вантажно-розвантажувальних робіт.

При розслідуванні та аналізі обставин нещасних випадків будь-яку травму прийнято розглядати як результат, спричинений низкою причин. Для встановлення їх взаємодії у створенні травмонебезпечних ситуацій та місця у загальній картині розвитку подій, що передували нещасному випадку, доцільно будувати мережеву модель причинно-наслідкових зв'язків [77,78].

Зазвичай на 1 – му (верхньому) рівні моделі зображують факт нещасного випадку НС, на 2 – му – небезпечний виробничий (травмуючий) фактор 1 та знаходження потерпілого (постраждалих) у зоні дії небезпечного фактора 2. Далі, встановлюючи окремо причини появи небезпечного фактора (1.1 1.2, ... і. N) та причини знаходження потерпілого в зоні дії цього фактора (2.1, 2.2,2m), розташовують їх на 3 – му рівні мережевої моделі і т. д. Побудову здійснюють доти, доки на нижніх рівнях виявляться лише «першопричини» [77]. Їх більш правильно назвати елементарними причинами, так як вони якісно однорідні: елементарна причина може бути (за найбільш поширеною класифікацією) тільки

технічної, тільки організаційної, тільки особистої (суб'єктивної) і т. д. З певним ступенем припущення її можна не вважати наслідком іншої якоїсь причини через відсутність останньої у явному вигляді або у зв'язку з практичною неможливістю встановити причастя такої до цього нещасного випадку.

У роботах, присвячених дослідженню причин нещасних випадків з використанням мережевих моделей, кожна причина травми, на якому б рівні вона не була розташована, розглядається також як однорідна. Насправді ж, як буде показано нижче, всі причини, розташовані в мережевій моделі вище за елементарні (між елементарними і НС), містять різні поєднання ознак елементарних причин, і тому їх слід розцінювати як комплексні [78].

Подальша побудова мережевої моделі покликана недоцільною, оскільки всі причини, розташовані на нижніх рівнях, можна віднести до елементарних (на рисунку 5 вони зображені кружками на відміну від комплексних причин, зображених прямокутниками). Тут використано такі види елементарних причин: технічні (Т), організаційні (О), особисті (Л). У принципі, можна було скористатися й іншою класифікацією. Підхід у цьому випадку залишився б тим самим.

Як видно з малюнка 6 у випадку елементарні причини розташовані різних рівнях. Важливо, що обставина, що вони в сумі становлять 100% причин, що призвели до цього нещасного випадку.

Якщо кожній елементарній причині надати вагу її впливу на кінцевий результат (НС), що може бути зроблено, наприклад, за допомогою методу експертних оцінок при розслідуванні випадку комісією, то врешті-решт вийде картина, показана на рисунку 5. Тут всі комплексні причини і сам нещасний випадок – наслідок відповідних елементарних причин і тому включають їх якості з вагою, рівним сумі ваг утворюють їх елементарних причин.

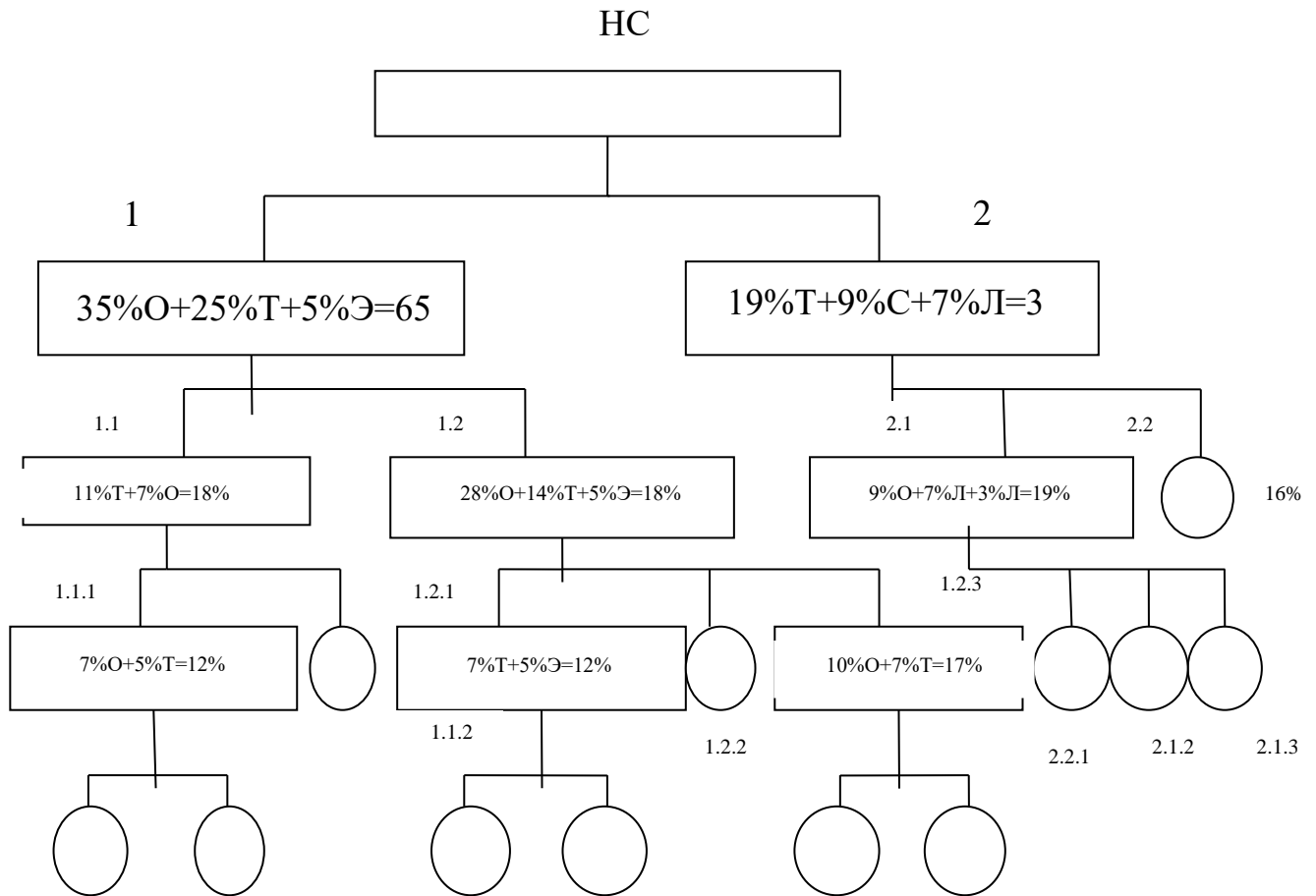


Рисунок 5. Загальне «дерево причин» нещасного випадку

Таким чином, можна вважати, що даний нещасний випадок стався внаслідок комплексу причин, з яких 44% технічних, 35% організаційних, 17% особистих і 5% економічних (дефіцит огорож і кріпильних пристроїв та обладнання). Відповідно небезпечний виробничий фактор (обвалення покрівлі) виник під впливом 35% організаційних причин, 25% технічних і 5% економічних, а потерпілий опинився в зоні дії небезпечного фактора з – за 19% технічних причин, 9% організаційних та 7% особистих і т.д.

Наведені у прикладі чисельні значення ваг елементарних причин не претендують на точність і використані лише як ілюстрації пропонованого підходу до оцінки ступеня впливу причин на викликаний ними нещасний випадок.

Для побудови загального «дерева причин» порушення за сферами причин об'єднуються для визначення ймовірностей 3-х подій формують КС.

На основі статистичних даних про виробничий травматизм (нешасні випадки) вихідні ймовірності у фрагментах «дерев причин» обрані такими:

Сфера функціонування - (порушення правил безпеки)

$$P = 0,2..0,25;;$$

- порушення інструкцій та/або їх відсутність – 0,05 -0,08 (0,1)

Сфера функціонування (технічні причини):

- Втрата стійкості упорів, ненадійність засобів виконання робіт –

$$P = 0,0001..0,0002.$$

- відсутність огорож – $P = 0,001 ..0,002.$

- Відсутність упорів - 0,005.

Сфера функціонування (організаційні причини):

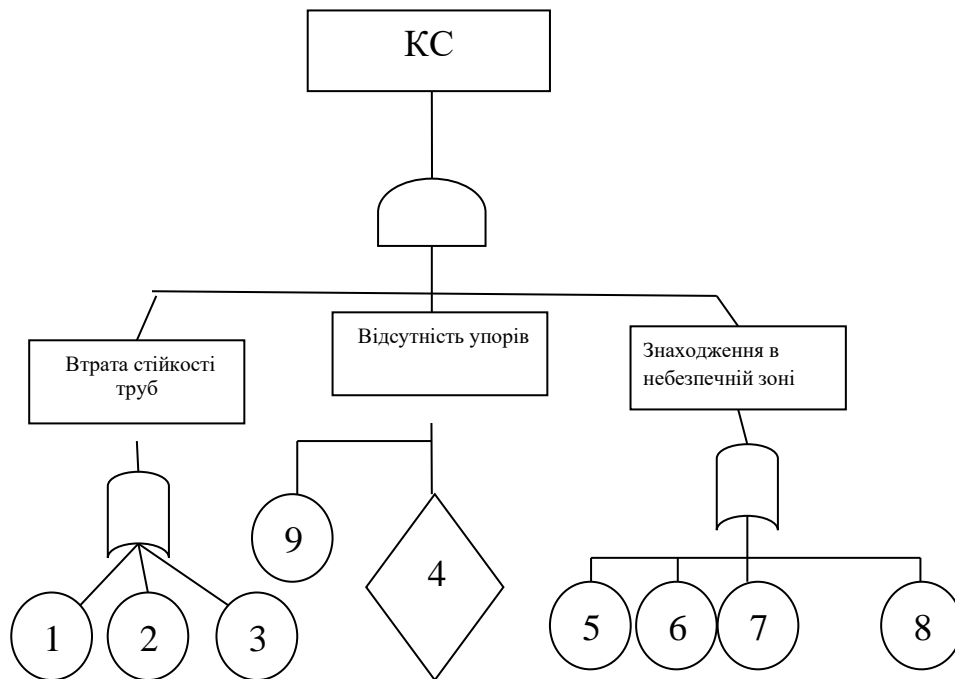
- Відсутність позначення небезпечної зони - $P = 0,02$ (п.5);

- неправильне кріплення $P = 0,2;$

- Перевантаження при складуванні - (неправильна прив'язка до поверхні) $P = 0,001;$

- вантажно-розвантажувальні роботи ведуться до виходу із небезпечної зони – $P = 0,05..0,1.$

За деякими даними може бути врахований і людський фактор (сфера психофізіологічні причини - знаходження працівника в небезпечній зоні - 0,02 ... 0,05 і перебування в зоні з інших причин (не обумовленим виробничим процесом) [78,79].



КС – нещасний випадок із летальним кінцем (травмування трубою); 1- відсутність упору (і його прив'язки) - $P_1 = 0,0002$; 2 - неправильне закріплення (строповка) труб - $P_2 = 0,2$; 3 - перевага при складуванні - $P_3 = 0,001$; 4 - погане планування основи під складування труб - $P_4 = 0.0015$ (п.30); 5 - небезпечна зона не позначена - $P_5 = 0,02$; 6 - порушення інструкцій - $P_6 = 0,05$; 7 - порушення правил безпеки - $P_7 = 0,25$; 8-кранівник приступив до підйому вантажу до виходу укладачки з небезпечної зони $P_8 = 0,1$; 9 – відсутність огорож – $0,01$.

Рисунок 6. «Дерево причин» нещасного випадку (перший спосіб)

Імовірність при незалежних вихідних подіях розраховується за такими формулами [77]:

для логічного зв'язку «І»

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

для логічного зв'язку «АБО»

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i), \quad (2)$$

де n - Число паралельних гілок (входів);

P_i - ймовірність появи i -ї вхідної події.

$$P_{C_1} = 1 - (1 - 0,0002) \cdot (1 - 0,2) \cdot (1 - 0,001) = 0,2 \text{ 1/год}$$

$$P_{C_2} = 0.01 \cdot 0,01 = 0,0001 \text{ 1/год}$$

$$P_{C_3} = 1 - (1 - 0.02) \cdot (1 - 0.05) \cdot (1 - 0,25) \cdot (1 - 0.1) = 0,372$$

$$P_{KC} = 0,2 \cdot 0,0001 \cdot 0,372 = 0,0000074$$

Тобто. на 1000000 осіб, що виконують аналізований технологічний процес, 74 працівники можуть виявитися травмованими падаючим вантажем.

Розглянемо другий спосіб.

Ми з'ясували, що КС стався внаслідок збігу у просторі та в часі трьох елементарних подій:

- рух труб при зачіпленні при завантаженні на автомобіль;
- Знаходження постраждалої в небезпечній зоні;
- знаходження з протилежного боку при русі і при накочуванні важкого довгомірного вантажу.

Кожна з цих подій – причин викликана такими причинами:

- реалізація необхідного за технологією процесу навантаження труб;
- Порушення постраждалої інструкції та правил безпеки праці;

Друга причина виникла внаслідок таких причин:

- на майданчику з'явилася прийомоздатниця, тому що не було чіткого розподілу дій керуючої ланки та працівників у ході виконання технологічного процесу вантажно-розвантажувальних робіт;

- був відсутній проект виконання робіт, у якому для даних конкретних умов необхідно було б, відповідно до вимог норм і правил, передбачити відсутність появи сторонніх людей із зони дії крана на період переміщення вантажів.

Проранжуємо вихідні події «дерева» (рисунок 7) за кількістю МКК (табл.3), які входять ці вихідні події. Зазначимо, що чим частіше зустрічається ця вихідна подія, тим більше його внесок у можливість відмови системи.

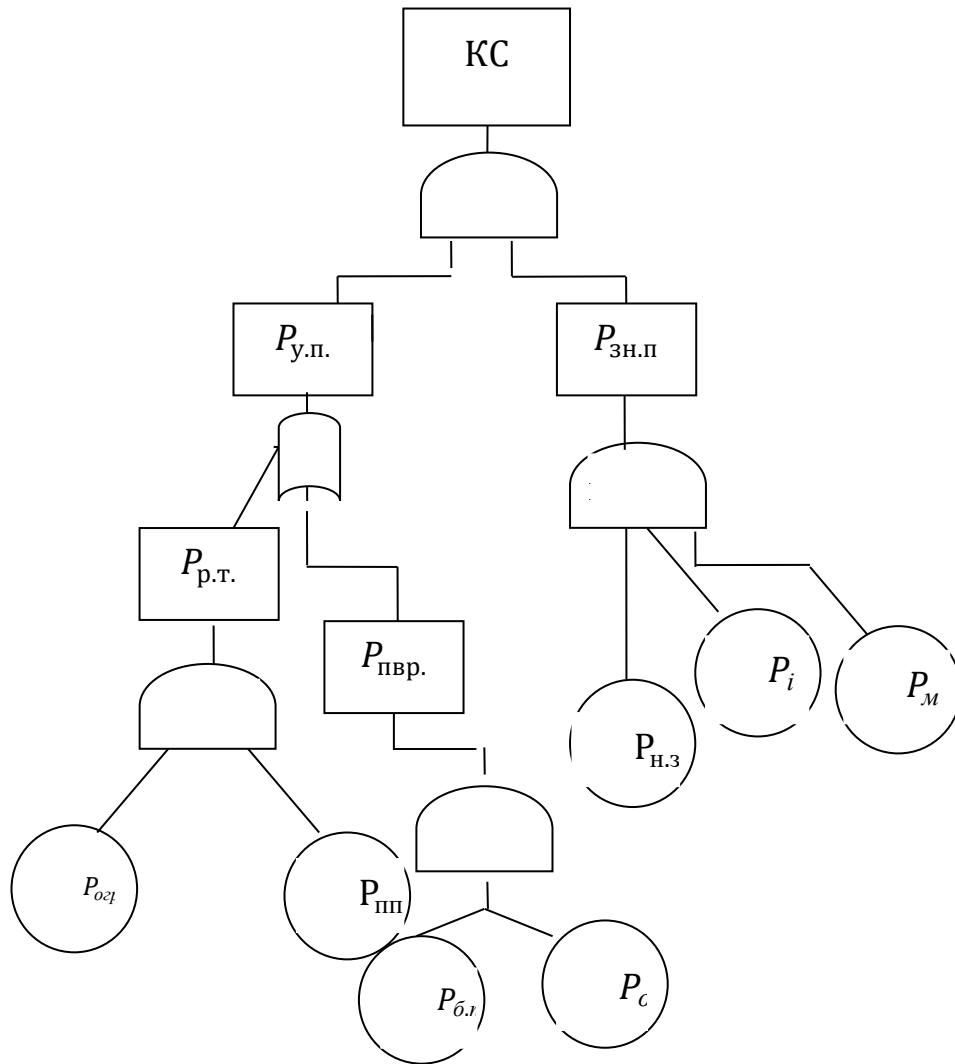


Рисунок 7. Загальне «дерево причин» нещасного випадку (другий спосіб)

Позначення до рис.7:

КС – нещасний випадок із летальним кінцем (травмування трубою);

$P_{у.п.}$ - укладання труб на причіп автомобіля

$P_{зн.п.}$ - знаходження постраждалої з протилежного боку;

$P_{н.з.}$ знаходження в небезпечній зоні,

P_i - порушення постраждалої інструкції з охорони праці;

P_m – мотивована причина (необхідність знаходження для обліку);

$P_{р.т.}$ – реалізація прийнятої технології (з порушеннями)

$P_{пвр.}$ - відсутність плану виконання робіт

$P_{б.л.}$ – відсутність забезпечення безпеки праці керівництвом,
 $P_{о.і.}$ - відсутність донесення інформації та інструктажу,
 $P_{огр.}$ - відсутність упорів та огорож $P_{пл.}$ - відсутність планування поверхні під укладання труб.

Таблиця 3

Ранжування вихідних подій «дерева»

Ранг події	Число МКК, в яке входить подія	Подія	Опис події
1	3	3	Знаходження з протилежної сторони
2	2	2	Реалізація прийнятої технології виконання робіт з порушеннями
3	2	1	Недоліки плану виконання робіт

Виконаємо розрахунок імовірностей подвій «дерева причин»:

$$P_{у.т.} = P_{р.т.} + P_{о.ппр.} - P_{р.т.} \cdot P_{о.ппр.}$$

$$P_{р.т.} = P_{огр.} \cdot P_{о.п.}$$

$$P_{ппр.} = P_{б.т.} \cdot P_{о.м.}$$

$$P_{н.в.} = P_{о.з.} \cdot P_{и.} \cdot P_{м.}$$

$$P_{КС.} = P_{у.п.} \cdot P_{н.с.}$$

$$P_{у.п.} = 0,25 + 0,1 - 0,25 \cdot 0,1 = 0,325$$

$$P_{р.т.} = 0,001 \cdot 0,01 = 0,00001$$

$$P_{ппр.} = 0,2 \cdot 0,05 = 0,01$$

$$P_{н.с.} = 0,02 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 0,0004$$

$$P_{КС.} = 0,325 \cdot 0,0004 = 0,00013 = 13 \cdot 10^{-5}$$

Можемо зробити висновки:

1. Чим розгалуженіша мережева модель причинно - слідчих зв'язків, тим складніше розробити і важче здійснювати комплекс заходів щодо попередження подібних нещасних випадків.

2. Будь-яку комплексну причину травматизму не можна ліквідувати, не виключивши її елементарних причин.

3. Нещасний випадок не станеться, якщо виключені всі елементарні причини, що призводять до появи небезпечного фактора, або всі елементарні причини, що спричиняють потрапляння людини в небезпечну зону в момент дії цього фактора.

4. Виняток із мережевої моделі (за рахунок виконання певних заходів) частини елементарних причин у групах комплексних причин 1 або 2 не усуває можливість повторення аналогічного випадку, а лише призводить до перерозподілу ваги елементарних причин, що залишилися.

Видно з розрахованих даних ймовірності нещасного випадку, які відрізняються значно (за другим варіантом) наскільки важливим є поглиблений аналіз стану охорони праці та її оцінки на виробництві в психологічних аспектах урахування психологічних причин виробничого травматизму.

$$P_{КС} = 13 \cdot 10^{-5} \gg P_{КС} = 0,0000074$$

Розглянуто психологічні аспекти охорони праці, оцінка психологічних факторів і на їх основі можливі небезпеки і ризики та надано рекомендації щодо їх усунення, при фактичному впливі і проведенні профілактичних заходів з використанням відповідних психологічних прийомів і методів захисту для зменшення їх впливу на робітників.

Відомо, що виробничим процесам з точки зору психології безпеки праці, розгляду в психологічному контексті, навіть невеликих підприємств, властива наступна характеристична лема: складність обліку всіх компонентів їх перебігу, значна розпорошеність в просторі і часі, необхідність врахування аспекту екстраполяції з метою прогнозування у часі, необхідність врахування

кількісних характеристик при наявності різноманітних екзогенних і ендогенних факторів впливу, структурна ієрархічність, багатокomпонентність станів, наявність структурних взаємозв'язків елементів, що утворюють складну систему і підпорядкування їх принципу складних систем, накладення зовнішніх вимог до системного врегулювання і т.і.

Часто на практиці неможливо уявити таке розмаїття в аналітичному вираженні, тому, необхідно залучати можливості психології безпеки праці, її прийомів і методів з позицій апарату прикладного системного аналізу.

Оцінивши на прикладі нещасного випадку, можливі сценарії розвитку кореневих подій, стан умов в яких працюють працівники, очевидно, що заходи по недопущенню розвитку аварійних ситуацій, травматичних ситуацій та профілактиці виробничих травм і зниження, таким чином, ризику травматизму, повинні розроблятися виходячи з аналізу психологічних причин травматизму.

Застосовуючи системний аналіз в практиці психології охорони праці ми зможемо:

- виявити переваги та недоліки в роботі будівельних підприємств;
- можливість подачі пропозицій щодо вдосконалення організації функціонування підприємства для відповідності вимогам до виробничих процесів і технології виконання робіт, можливості застосування сучасного нового обладнання і залучення до роботи нових технологій, розробки виробничої програми відповідно до вимог безпеки праці.
- проаналізувати організацію безпеки праці на підприємстві, стан умов праці, на відповідність санітарно - гігієнічним вимогам робочих місць;
- намітити вирішення проблем в організації робіт, можливого попередження нещасних випадків виявивши недоліки допущені працівниками або наявні небезпечні умови і розвиток можливих небезпек (небезпечних ситуацій);
- провести аналіз виробничих небезпек, при цьому оцінивши рівень ризику робочого місця і робочої зони працюючих.

Застосовуючи для оцінки безпеки виробництва і врахування ймовірностей подій психологічних причин виробничого травматизму метод логіко-ймовірнісного моделювання із застосуванням «дерева відмов», «дерева причин» можна визначити ймовірні втрати в результаті нещасного випадку на виробництві (розглядається у роботі випадок пов'язаний з падінням важких предметів на людину на виробничій ділянці).

При цьому розглядаються події, що відсікаються на етапі аналізу і залишаються без розгляду.

Таким чином, ми приходимо до кількісної оцінки рівня ризику травмування для інтервалу статистичної сукупності - періоду обліку статистичних даних.

Тому можна керувати ризиком, задаючись альтернативними заходами, що знижують ключові події і визначають головну подію - ймовірність травмування зі смертельним результатом. За результатами розслідування нещасного випадку та висновками комісії пропонуємо на підприємствах проводити наступні заходи: ліквідувати недоліки навчання, створювати умови, що виключають порушення технології монтажу та включають забезпечення працюючих засобами колективного захисту, використання організаційно – технічних заходів щодо забезпечення наявності на робочих місцях проектів виконання робіт, посадових та експлуатаційних інструкцій, враховувати психологічні фактори. Відповідно, це зменшує ймовірність подій, автоматично зменшуючи ймовірність головної критичної події. При цьому буде створюватися можливість зібрати набір готових кількісних оцінок, що впливають на остаточний вибір про необхідність проведення тих чи інших заходів, що запобігають можливим нещасним випадкам у майбутньому.

Виходить, що враховуючи психологічні причини, помилки людини з позицій психології безпеки ми приходимо до суттєвого зниження ймовірності головних подій чи зниження серйозності наслідків. У разі негативного результату розрахунків (двох варіантів розрахунків) ми можемо з повною

впевненістю стверджувати про неправильну побудову «дерева відмов» або необґрунтовані витрати грошей.

Зміна критичності події може бути мірою прибутку від змін, що вносяться в систему. Тому в реальних умовах міра прибутків може бути оцінена за витратами на безпеку.

Таким чином, метод «дерева відмов» дозволить не тільки якісно уявити проблему, але й оцінити кількісно економічну ефективність застосування різних заходів з охорони праці та ефективність проведення профвідборів, мотивації працівників.

В основу запропонованого методу оцінки сили мотивів до використання засобів захисту було покладено положення про те, що за словом, обраним для оцінки частоти та інтенсивності небажаної події, можна судити про силу мотивації індивіда до його уникнення.

Застосовуючи цей метод виходили з припущення, що сила спонукання до використання того чи іншого засобу захисту обумовлена проявом наступних мотивів трудової діяльності:

- мотиву безпеки (не отримати фізичного ушкодження, а також службового покарання або громадського осуду за порушення правил безпеки),
- мотиву вигоди (отримати велику продуктивність, великий зарібок, великий авторитет),
- мотиву зручності (полегшити процес праці).

Таким чином, можна зробити висновок, що провідними факторами, що визначають результуючу мотивацію до використання засобів захисту, є: мотиви уникнення фізичної небезпеки, а також збереження при цьому високої продуктивності (зарібку) та зручності. Уникнення соціального покарання виявилось найслабшим мотивом серед розглянутих спонукань до використання засобів захисту.

З таблиць видно, що низьке спонукання до використання захисного кожуха токарного верстата пов'язано в основному з тим, що цей засіб знижує продуктивність, зарібок та негативно позначається на тяжкості праці. За

допомогою цієї таблиці можна виявити вплив виробничих та соціальних факторів на спонукання робітників до використання та інших розглянутих засобів захисту. Зроблені вище висновки про вплив різних факторів на спонукання, що розглядається, підтвердили і результати кореляційного аналізу.

Припустимо, що в результаті здійснення психологічних заходів ми можемо виключити порушення мотиваційної та виконавчої частини дій працюючих і забезпечити чіткий зв'язок, з факторами, що визначають безпеку праці (відповідно до схеми (рисунок 2), а провівши узгодженість психофізіологічних характеристик людини з виконуваними виробничими процесами, можемо виключити наприклад входження людини в небезпечну зону, застосування нею небезпечних методів роботи. Тоді однозначно, що ймовірність травматизму буде знижуватися.

Необхідність подальших досліджень в сфері психології безпеки праці обґрунтована відсутністю наукового розгляду питань впливу психологічних факторів на працівника на тлі зміни нових технологічних прийомів і застосування нового обладнання при збільшенні інтенсивності виробничого процесу. Наявність фактів перевищення психофізіологічних меж людини у процесі праці, зменшення і вивільнення робочих місць, збільшення кількості робочих місць з небезпечними і шкідливими умовами праці, порушення регламентів на виконання робіт з підвищеною небезпекою відповідно до нарядів - допусків, а також грубі помилки вимагають посиленої уваги до психології безпеки в будівництві.

Використання методу «дерева відмов» з врахуванням відгалужень психологічних причин виробничого травматизму дозволяє фахівцю більш глибоко проаналізувати кількісні та якісні аспекти безпеки та виконати аналіз впливу психологічних причин на кореневу подію, що дозволить отримати вірне управлінське рішення при оцінці конкретної ситуації та отримати графічний матеріал для практичного керівництва ведення безпечних робіт будівельних організацій.

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.1.6

1.6 Підсилення різнотипних фундаментів суцільною плитою

У багатьох містах України зберігається велика кількість старої забудови, переважна більшість з якої фізично та морально зношена. Реконструкція будівель старої забудови дає можливість, за рахунок розширення, надбудови та підсилення вже існуючих будівель, для їхнього збереження, виконати їх реконструкцію, що сьогодні є одним з найважливіших завдань у зв'язку із суттєвим старінням об'єктів індустріального та цивільного призначення.

Як правило, реконструкція передбачає перебудову існуючих будівель, пов'язану з удосконаленням виробництва, поліпшенням умов експлуатації, зміною основних техніко-економічних показників, тощо, що супроводжується підсиленням конструктивних елементів цих будівель. На сьогодні відомо досить багато способів підсилення несучих конструкцій, основ та фундаментів будівель і споруд [80, 81].

Підсилення фундаментів необхідно виконувати в наступних випадках:

- при збільшенні навантаження на фундаменти (реконструкція з надбудовою, зміна технологічного обладнання);
- при руйнуванні конструкцій фундаменту (при їх розташуванні в агресивному середовищі);
- при збільшенні деформативності і погіршенні умов стійкості в результаті додаткового зволоження, або погіршення властивостей ґрунтів при зміні інженерно-геологічних умов;
- при розвитку неприпустимих осідань, що відбуваються, як правило, в результаті помилок, допущених при проектуванні, внаслідок неправильної оцінки несучої здатності і деформативності.

В даний час використовують такі методи підсилення основ і фундаментів:

- збільшення несучої здатності ґрунтів;
- підвищення міцності конструкції фундаменту;
- пересадка фундаментів на палі;

- зміна умов передачі тиску по підшві фундаменту на ґрунт за допомогою збільшення опорної площі, заглиблення фундаменту, розміщення під будівлею фундаментної плити або введення додаткових опор.

У всіх випадках при проектуванні підсилення необхідно максимально використовувати існуючий фундамент, забезпечивши його спільну роботу з елементами підсилення.

В даному дослідженні розглядається одна з таких будівель – промислова будівля, запроектована та побудована в 70-х роках 20 століття. З середини 90-х років більша частина будівлі простояла не експлуатована (рис. 1, 2).



Рисунок 1. Фасад існуючої будівлі по осі «Б»



Рисунок 2. Фасад існуючої будівлі по осі «Д»

Існуюча триповерхова будівля за конструктивною системою комбінована, із цегляними стінами ззовні та залізобетонними колонами всередині, є будівлею-вставкою між іншими промисловими та громадськими будівлями. Довжина будівлі в осях 45,415 м, ширина – 20,34 м (рис. 3). Висота 1-го поверху 4,7 м, 2-го – 5,7 м, 3-го – 6,0 м. Під частиною будівлі в осях «2-б» є підвал, висотою 4,2 м (рис. 4, 5). Перекриття – монолітні ребристі залізобетонні плити.

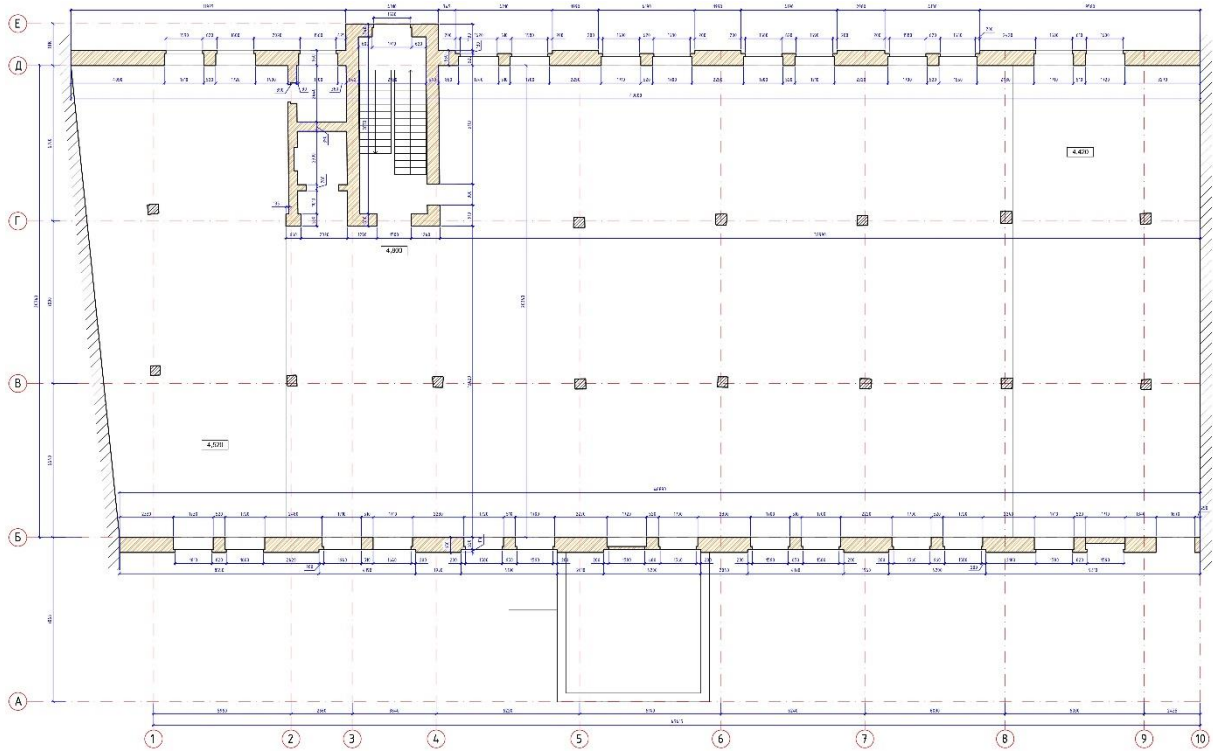


Рисунок 3. План 2-го поверху існуючої будівлі (на час дослідження)



Рисунок 4. Фрагмент підвалу в осях
«4-6/Б-В»



Рисунок 5. Вихід з підвалу в
осях «3-4» по осі «Г»

Згідно намірів власника передбачалася реконструкція будівлі із надбудовою та подальшим її використанням під адміністративно-офісні та торговельні функції, а також функції закладів громадського харчування (1-й поверх). Реконструкція передбачала надбудову трьох поверхів (рис. 6), висотою 3,5 м, а також улаштування на другому та третьому поверхах антресолей.

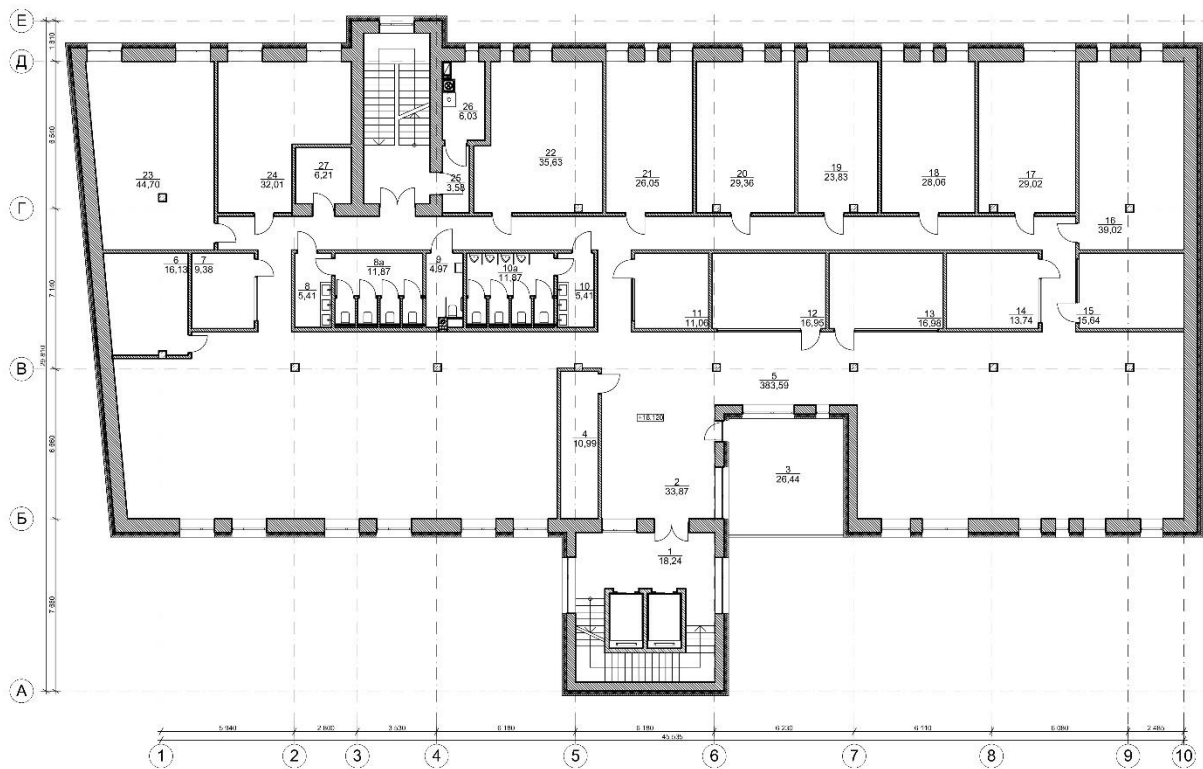


Рисунок 6. План типового проектованого поверху надбудови

Для прийняття рішення щодо можливості реконструкції із надбудовою було проведене технічне обстеження будівлі згідно нормативних вимог [82]. Під час обстеження авторами були визначені всі необхідні параметри будівлі. Обміри та додаткове обстеження були необхідні для проведення перевірних розрахунків конструкцій будівлі (фундаментів, колон, стін, простінків, перекриттів). Мета розрахунків - визначення фактичних резервів несучої здатності основних несучих конструкцій існуючої будівлі при використанні цих резервів для можливості її реконструкції з надбудовою під офісний центр.

Основну увагу, в першу чергу, було приділено конструкціям фундаментів. Фундаменти під стіни є стрічкові, під колони – стовпчасті (рис. 7, 8).

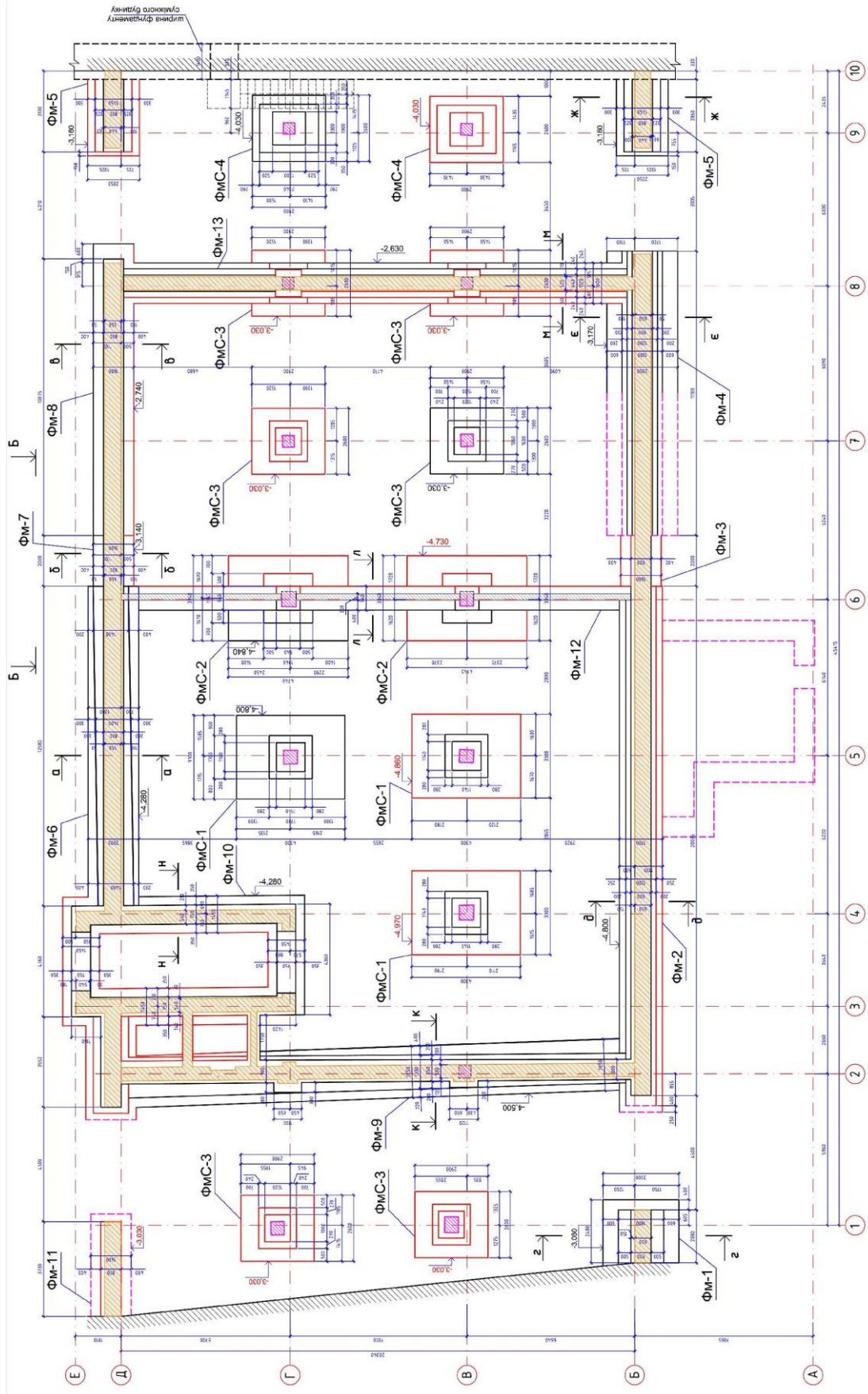


Рисунок 7. План існуючих фундаментів

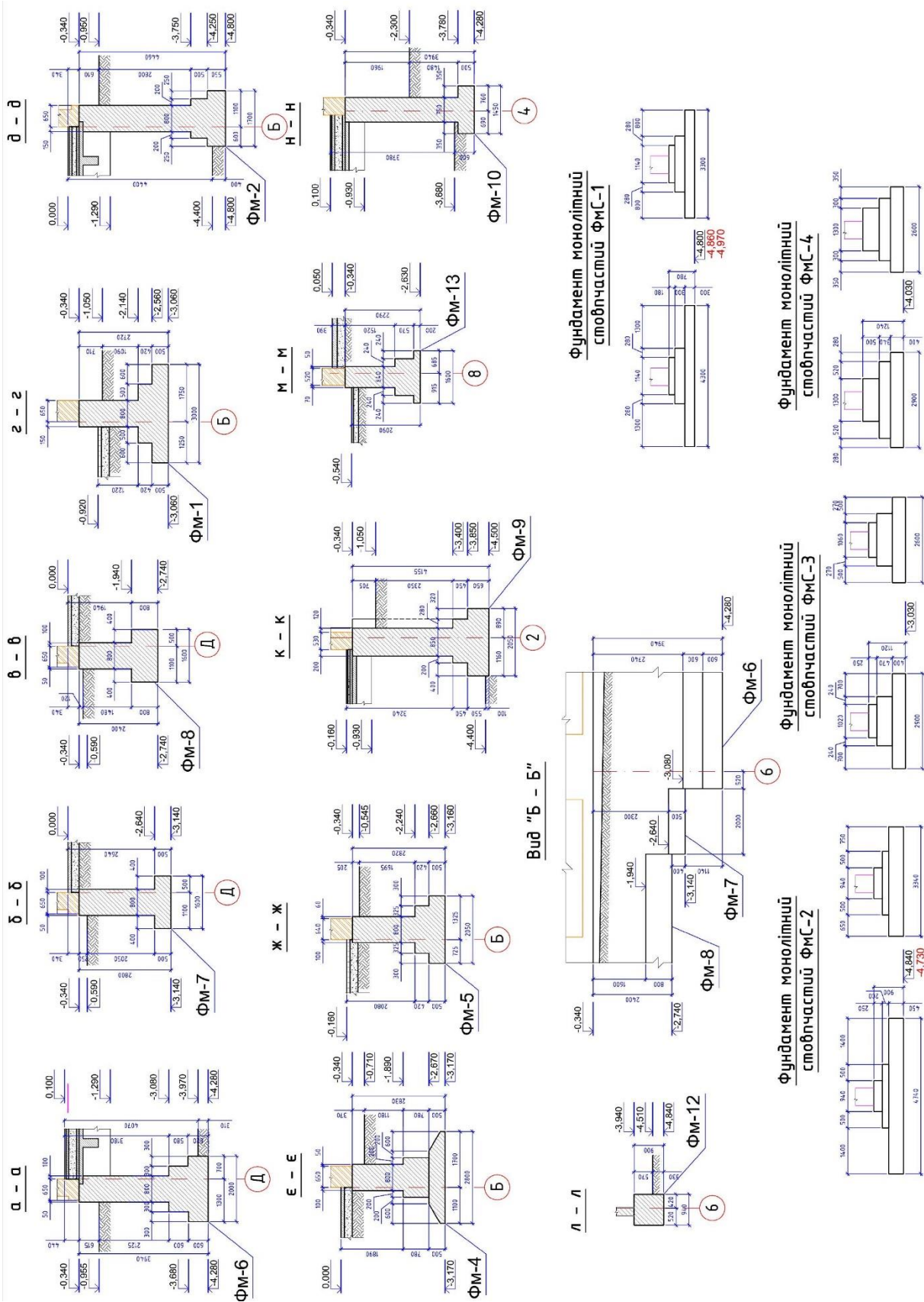


Рисунок 8. Розрізи існуючих фундаментів

Виконані перевірні розрахунки усіх фундаментів будівлі на основі норм [83]. Для перевірних розрахунків фундаментів до реконструкції будівлі, виконали збір експлуатаційних навантажень ΣF_{II} на рівень їх підшов. За розрахунками під кожним фундаментом визначили такі дані: середній тиск під підшовами p ; розрахунковий опір ґрунту основи R ; осідання s ; резерв несучої здатності кожного фундаменту $R_{резерв}$. Для систематизації сприйняття результатів перевірних розрахунків фундаментів їх дані наведені у виносках на схемі плану фундаментів (рис. 9).

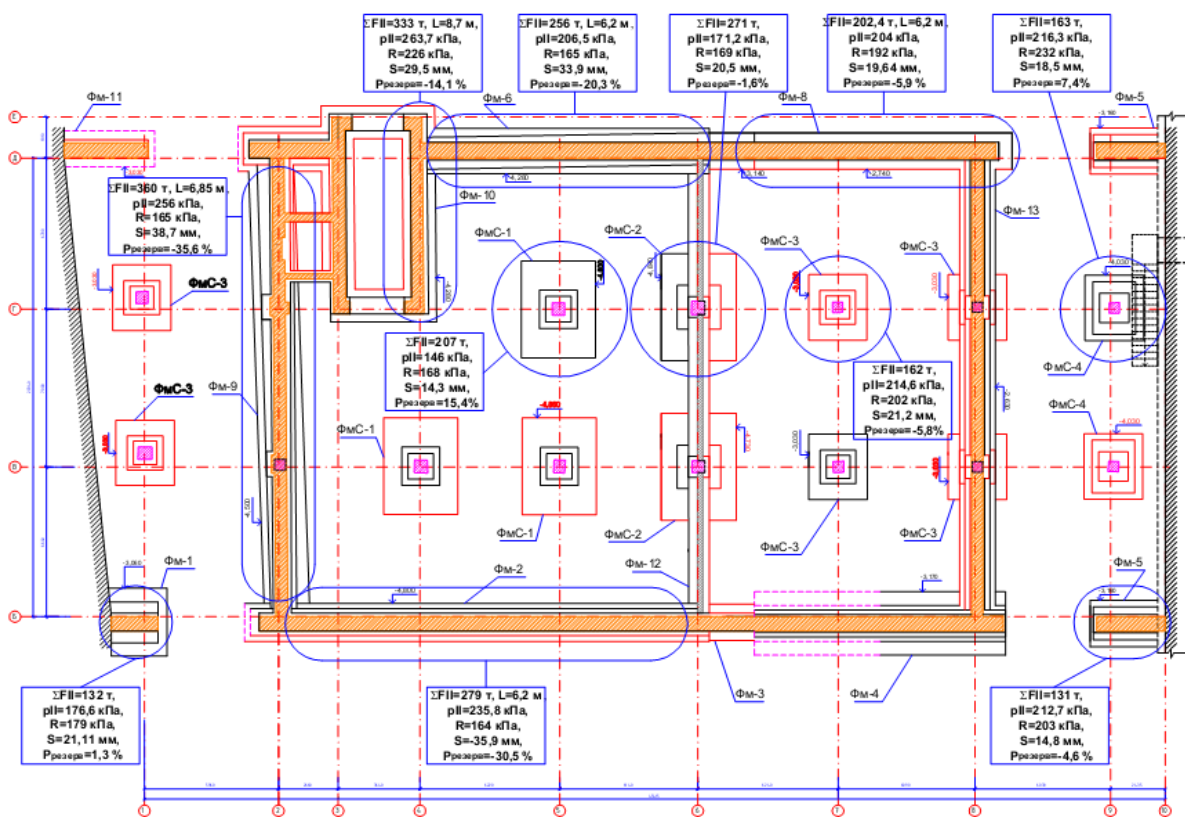


Рисунок 9. Результати перевірних розрахунків на схемі плану фундаментів

Проведені перевірні розрахунки фундаментів до реконструкції існуючої будівлі на нові постійні, корисні та тимчасові навантаження показали, що вони запроектовані досить раціонально. Резерви несучої здатності стовпчастих фундаментів коливаються у невеликому діапазоні значень $-5,8 \% \div +15,4 \%$. Стрічкові фундаменти підвальної частини будівлі по осях «Б» та «Д», мають понижений резерв несучої здатності $-20,3 \% \div -30,5 \%$.

Враховуючи вище сказане, було прийняте рішення підсилення фундаментів. Для підсилення та об'єднання усіх існуючих фундаментів запропонований варіант улаштування суцільної монолітної фундаментної плити (рис. 10, 11).

Враховуючі різні глибини закладання існуючих фундаментів по довжині будівлі, запроєктовано три окремі плити Пл-1, Пл-2, Пл-3, товщиною 500 мм. Всі плити анкеруються в тілі стрічкових фундаментів залізобетонними шпонками шириною 800 мм через 1200÷1300 мм, а також поєднується із стовпчастими фундаментами. Плити Пл-1 та Пл-2 монолітно поєднуються між собою за допомогою нових монолітних залізобетонних стінок Ст-1 та Ст-2. З урахуванням того, що в осях «1-2» та «8-9» розташований проїзд для автотранспорту в межах 1 поверху, під новими монолітними плитами Пл-2 та Пл-3 влаштовані додаткові фундаменти Ф-1÷Ф-5 (рис. 11). Конструктивні рішення з підсилення прийняті з урахуванням нормативних вимог [84].

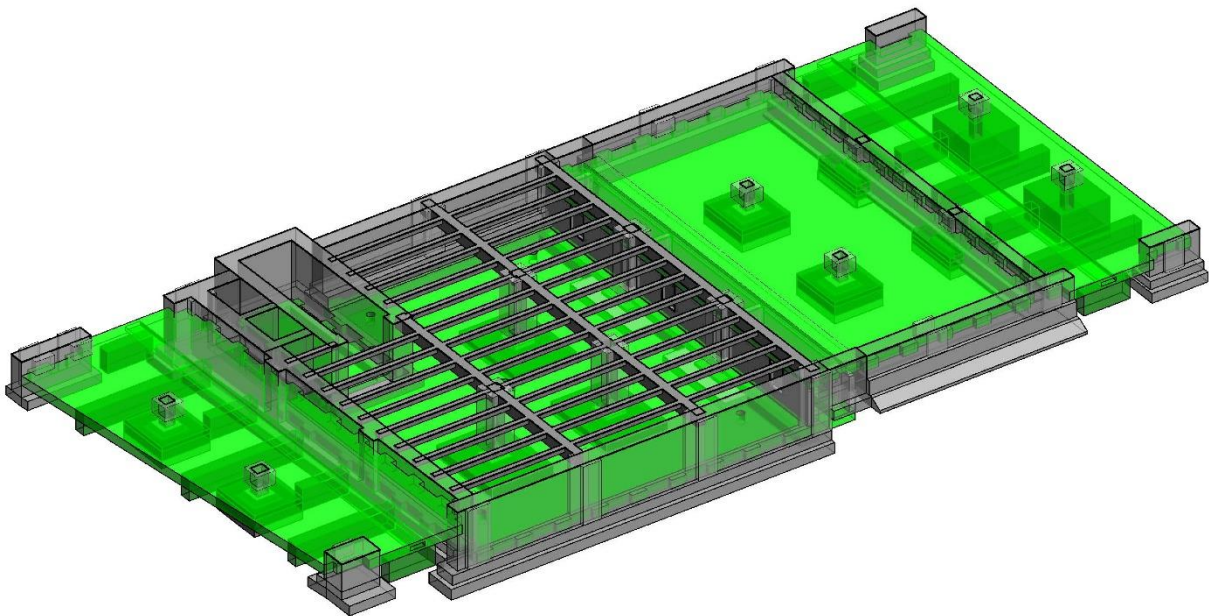


Рисунок 10. Просторовий вигляд підсилення фундаментів суцільною монолітною плитою

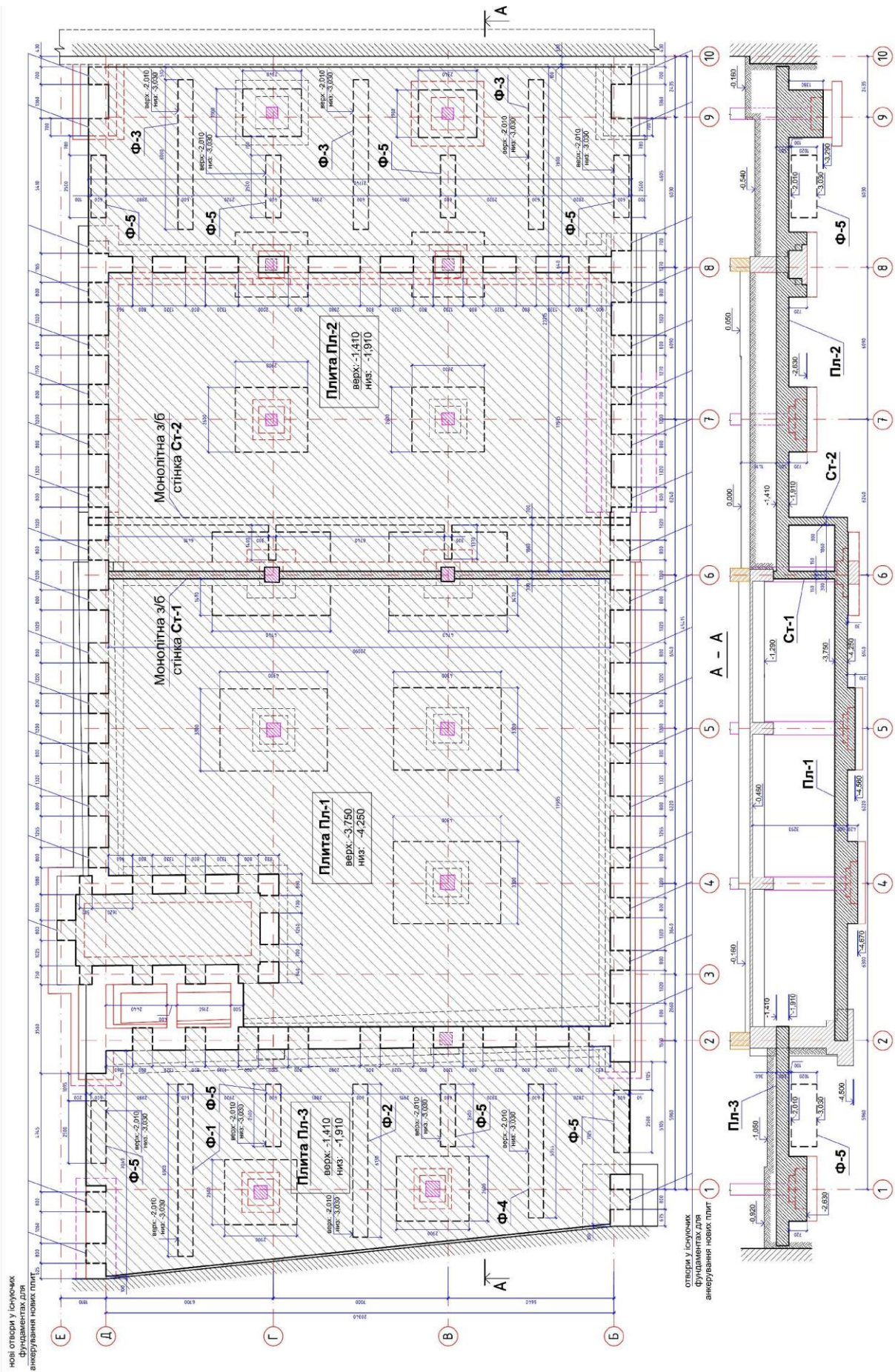


Рисунок 11. Схема підсилення фундаментів суцільною монолітною плитою

Запропонований та виконаний (рис. 12) варіант конструкції підсилення фундаментів задовольнив усі поставлені вимоги та може бути застосований при реконструкції та капітальному ремонті подібних будівель.

Крім того, в межах реконструкції, були розроблені конструктивні рішення підсилення інших конструктивних елементів будівлі, що буде розглянуто у наступних дослідженнях.



Рисунок 12. В процесі виконання робіт по улаштуванню фундаментної плити

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.1.7

1.7 Інноваційна технологія на базі системи збірно-монолітний каркас універсальний безригельний (КУБ-2,5)

Ця технологія відповідним чином розроблена, освоєна, впроваджена та адаптована згідно норм та правил будівництва в практику будівельної галузі України підприємством ТОВ «ВБК «Моноліт» в повному завершеному циклі, а саме: проектування, виробництво, транспортування і монтаж несучого каркасу будівель. По відповідній технології компанія ТОВ «ВБК «Моноліт» проводила будівництво об'єктів житлового та соціального призначення в м. Обухів, в м. Мелітополь, в м. Бердянськ, в м. Запоріжжя та в м. Ялта.

Що таке «КУБ».

КУБ-2,5 являє собою інженерну конструкцію зібрану в просторі: колонами; плитами перекриття (які створюють об'єднаний жорсткий диск поверху) та діафрагмами жорсткості, які забезпечують стійкість каркасу будівлі. Сполучення між поверхами здійснюється за допомогою сходових клітин та ліфтової шахти, які також служать як діафрагми жорсткості будівлі. Такий каркас будівлі дає можливість будувати в районах з сейсмікою 9 балів включно по шкалі Ріхтера.

Переваги використання даної системи.

- Швидка організація будівництва при відносно невеликих капіталовкладеннях.
- Простота монтажу, яка дає можливість швидко навчити спеціальності монтажника цього каркасу.
- Можливість формування внутрішнього простору за бажанням замовника (відсутність несучих перегородок).
- Можливість різноманітності фасадів.
- Можливість виготовлення елементів каркасу будівлі до початку його монтажу.
- Мінімальна кількість елементів каркасу(6 елементів).
- Зведення каркасу незалежно від пори року та погодних умов.

- Висока швидкість монтажу каркасу (за зміну роботи бригада в кількості 7 чоловік виконує монтаж конструкцій в кількості 150м² площі поверху під одним грузопідйомним механізмом). В рази швидше і меншими трудозатратами, ніж при будівельній технології монолітного-бетонного каркасу, оскільки не потребує встановлення арматурних каркасів та опалубки, а потім технологічного затвердіння бетону (27 діб при відповідній температурі).

- Найважливіше, це економія будівельних матеріалів при будівництві. Витрати бетону та металу залежать від етажності будівлі, шагу колон, висоти поверху.

Показники витрат матеріалів на 1м² перекриття при КУБ-2,5:

- бетон від 0,18 - 0,24 м³/м²
- арматура від 18 - 27кг/м²

Показники витрат матеріалів на 1м² перекриття при МБК

- від 0,35 – 0,8 м³/м²
- арматура 38 – 120 кг/м²

За рахунок чого ще досягається економія будівельних матеріалів:

- колони розміром поперечного перерізу 400*400 мм
- плити перекриття товщиною 160 мм
- відповідно і діафрагми жорсткості також товщиною 160мм

В результаті чого каркас виготовлений по системі КУБ-2,5 буде за вагою меншим, в 1,5 рази ніж каркас виготовлений в системі МБК. Відповідно витрати будівельних матеріалів по виготовленню фундаментів під будівлю буде в 1,2-1,5 рази менше.

А також на економне використання будівельних матеріалів має вплив точне в відповідних геометричних розмірах, виготовлення та розміщення несущої арматури в конструкціях. Тому що всі ці роботи проводяться в цеху, з відповідними пристроями та приспособами, а також це дає можливість кращого контролю якості виробництва.

З виникненням складної ситуації в економіці України в результаті війни виникла необхідність зводити якісні будівлі, які відповідають нормам несучої спроможності, при менших витратах будівельних матеріалів.

Система КУБ дозволяє зводити як житлові (до 27поверхів), так і соціально-побутові та промислові будівлі різних типів (торгові центри, багато ярусні гаражі-стоянки, промислові будівлі і т. п.).

Конструктивні особливості та сфера використання

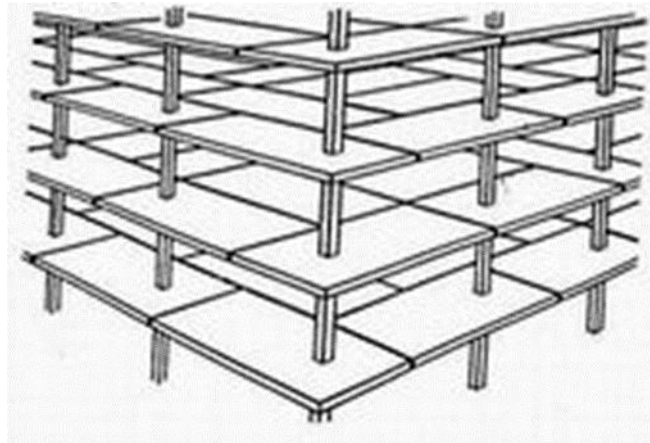


Рис.1 Конструктивні елементи каркасу будинку

Каркас збирається на будівельному майданчику з виробів заводського виготовлення з наступним замонолічуванням вузлів – в експлуатаційній стадії конструкція є монолітною. Система «КУБ» має два несучих елементи, це колона та панель перекриття.

Система «КУБ» характеризується довільністю планувальних рішень завдяки відсутності ригелів, а також відкритістю простору для створення як звичайних, так і унікальних споруд, складних за формою, багатих на пластику та декор.

Несуча спроможність перекриття дозволяє використовувати каркас у будівлях з інтенсивністю навантаження на поверх до 2500 кг/м². Зовнішні стіни можуть бути навісними, самонесучими та несучими з відповідною теплопровідністю, внутрішні – з будь-яких місцевих будівельних матеріалів. Консольна частина перекриття дозволяє створювати балкони шириною 1,5 м.

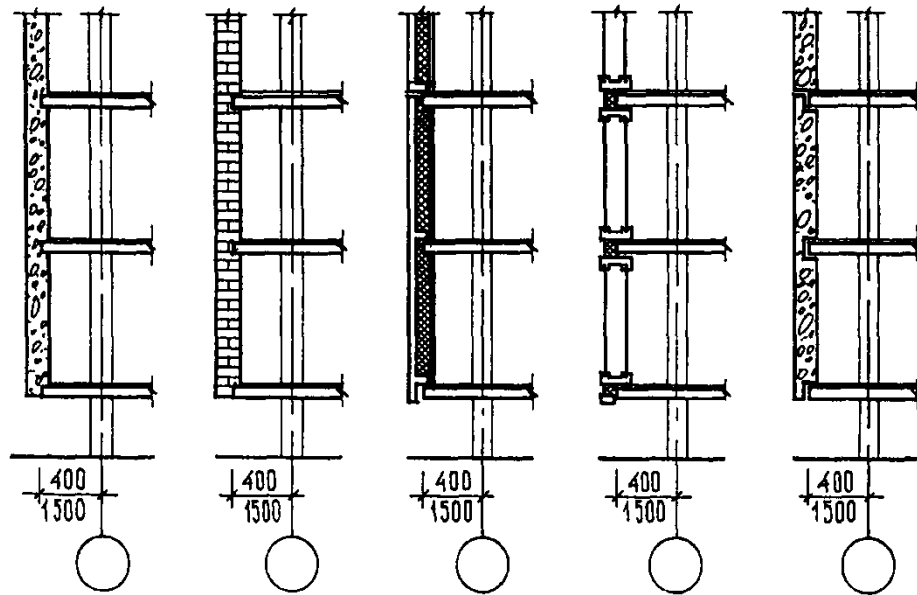


Рис.2 Основні типи огорджуючи конструкцій на консольних плитах.

Основна сітка колон в каркасі 6*6 та 6*3, а також можливо використання сіток колон 6*12. Утворений прольот розміром 12м перекривається за допомогою сталюї шпренгельної ферми.

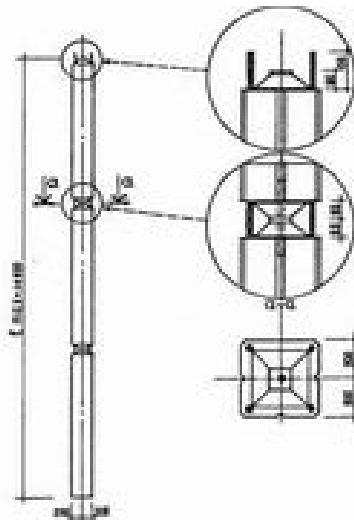


Рис.3 Конструкція стиків між колонами.

Технологія виробництва залізобетонних елементів каркасу в заводських умовах дозволяє застосовувати потужну техніку і створювати сприятливі умови для випуску високоякісної продукції.

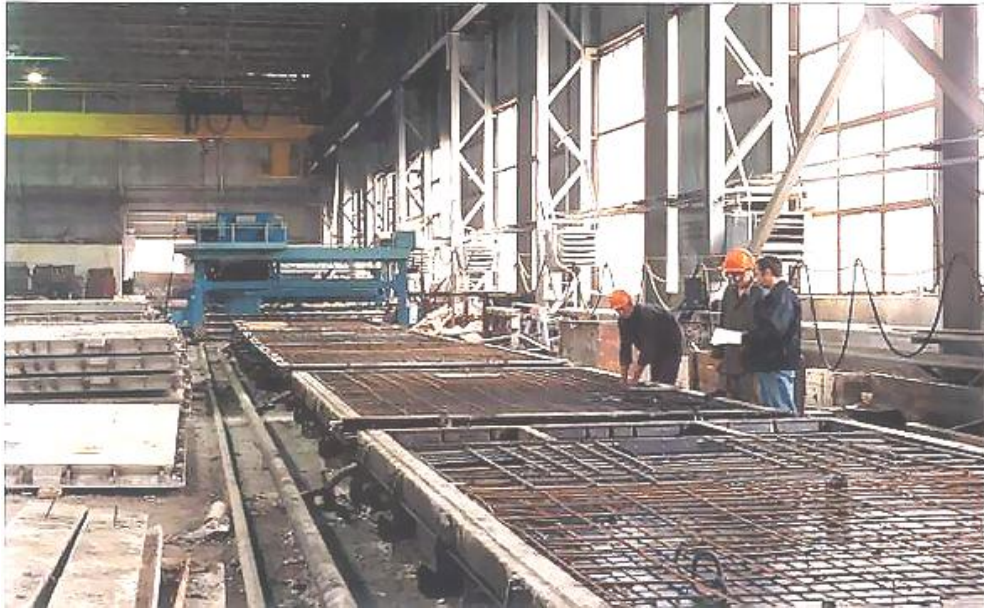


Рис.4. Цех по випуску залізобетонних виробів , елементів каркасу будинку.

Стендовий спосіб виробництва.

- формування відбувається в стендових формах;
- укладка бетону бетоноукладачем;
- ущільнення бетонної суміші на вібраційній площадці;
- теплова обробка в тунельних камерах.

Процес будівництва.

Конструкції каркасу доставляються на будівельний майданчик автомобільним транспортом згідно графіку будівництва та специфікації потреби на відповідний момент.

Фундаменти для будівництва багатоповерхових будинків виготовляються на основі буро-набивних свай або свай методом задавлювання в ґрунт. Глибина та площа поперечного перерізу свай залежить від геологічних властивостей земельної ділянки. Каркас збирається на будівельному майданчику з виробів заводського виготовлення з наступним замонолічуванням вузлів без встановлення додаткової опалубки – в експлуатаційній стадії будівлі, конструкція вважається монолітною.

Монтаж каркасу передбачає наступну послідовність:

- виготовити монолітні фундаменти старанного типу, перевірити точність виконання стаканів і прив'язки їх по осям будівлі;

- виконати підготовку підлоги підвалу, якщо це передбачено проектом;

- впевнитися в тому, що бетон фундаменту набрав 70% проектної міцності;

Установка колон в стакани виконується наступним чином:

- стропування колони забезпечується за допомогою монтажної цапфи, яка вставляється в отвір розміщений в верхній частині колони;

- колона подається вертикально в стакан фундаменту;

- використовує повздовжні мітки на гранях колони, виконується вертикальні та горизонтальна установка і фіксація за допомогою 4-х металевих клинків.

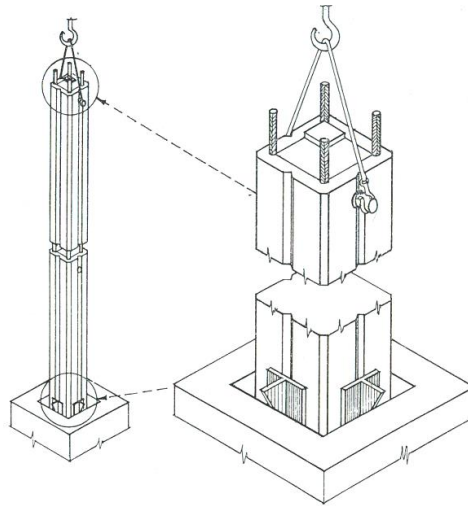


Рис.5. Схема монтажу і кріплення колон першого ярусу до фундаментів.



Рис.6. Вигляд першого і другіггг поверхів в процесі монтажу.

Стики в стакані фундаменту після монтажу колони бетонуються дрібнозернистим бетоном В25 з подальшим ретельним ущільненням.

Стик колон передбачає примусовий монтаж при якому фіксуючий стержень нижнього торця верхньої колони повинен увійти в патрубок верхнього торця нижньої колони. Зварка арматури виконується при умовах розтягуючих зусиль в стику колон.

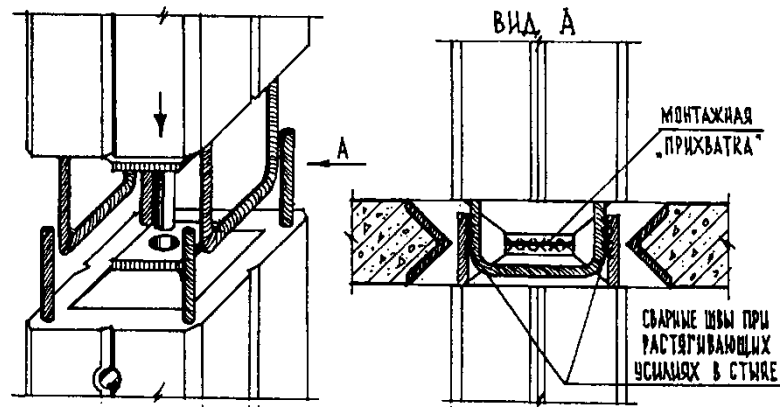


Рис.7. Схема стиків колон з надколонною плитою.

Монтаж надколонних панелей перекриття на колону виконується за допомогою монтажного кондуктора, спеціальні гвинти якого, попередньо виставляються на проектну відмітку низу панелі. Рівень встановленої панелі при необхідності коригується цими ж гвинтами.

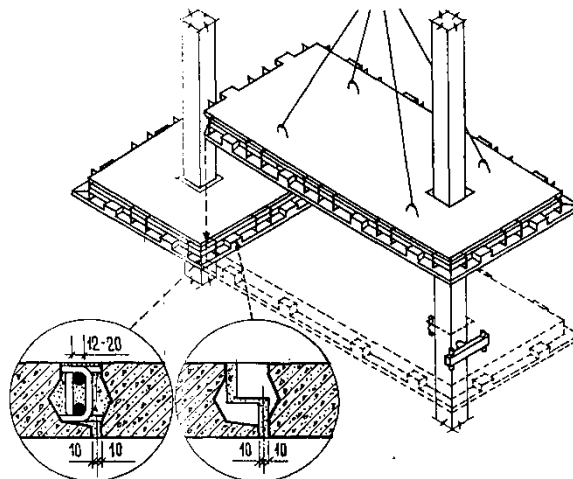


Рис.8. Схема монтажу надколонних плит перекриття.



Рис.9. Вигляд елементів надколонних плит і стиків між плитами і з колонами в процесі монтажу.

Монтаж панелей перекриття «насухо» в проектне положення виконується за допомогою бетонних монтажних столиків, передбачених конструкцією панелі, при цьому арматурні випуски торців суміжних панелей поєднуються таким чином, що утворюється петля, в якій просвіт повинен бути не менше 12-20 мм, після чого:

- перевіряється горизонтальна установка панелі і за необхідності рихтується за допомогою монтіровки, а вертикальна установка, за необхідності виправляється за допомогою підкладок під монтажні столики;
- в просвіт петель вставляється арматура $\varnothing 10$ АШ або в виді прямих стрижнів і прив'язується, або в вигляді П-образних шпильок;

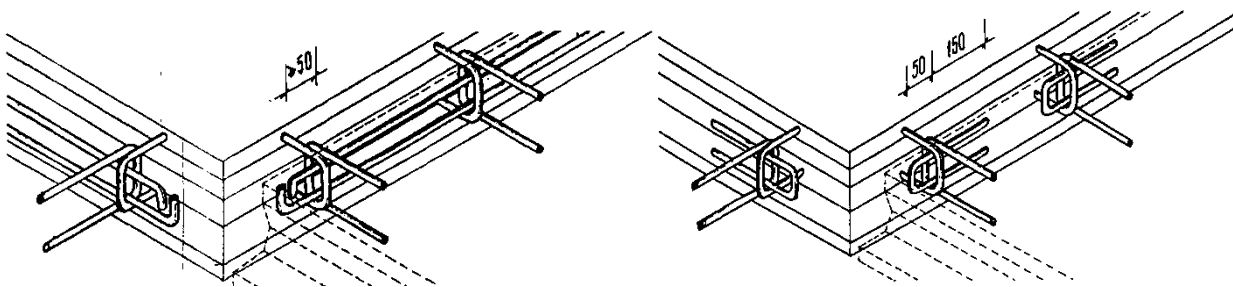


Рис.10Схема армування стків плит перекриття перед бетонуванням.

Після установки арматури стики панелей перекриття бетонуються дрібнозернистим бетоном В25 с фракцією не більше 10мм, одночасно

бетонуються стики надколонних панелей з колоною, з попередньою установкою знизу опалубки в вигляді інвентарної обичайки;

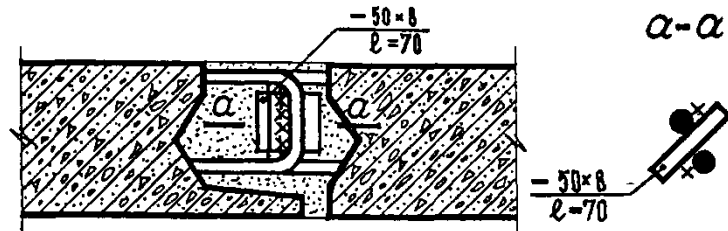


Рис.11.Конструкція стика між плитами перекриття.

При несиметричному опиранні панелей, або односторонньому додатку до них навантажень, що, як правило, буває на крайніх консольних частинах (по крайніх вісях) будівлі, необхідна установка монтажних стійок в місцях, показаних на кресленні.(Рис.12)

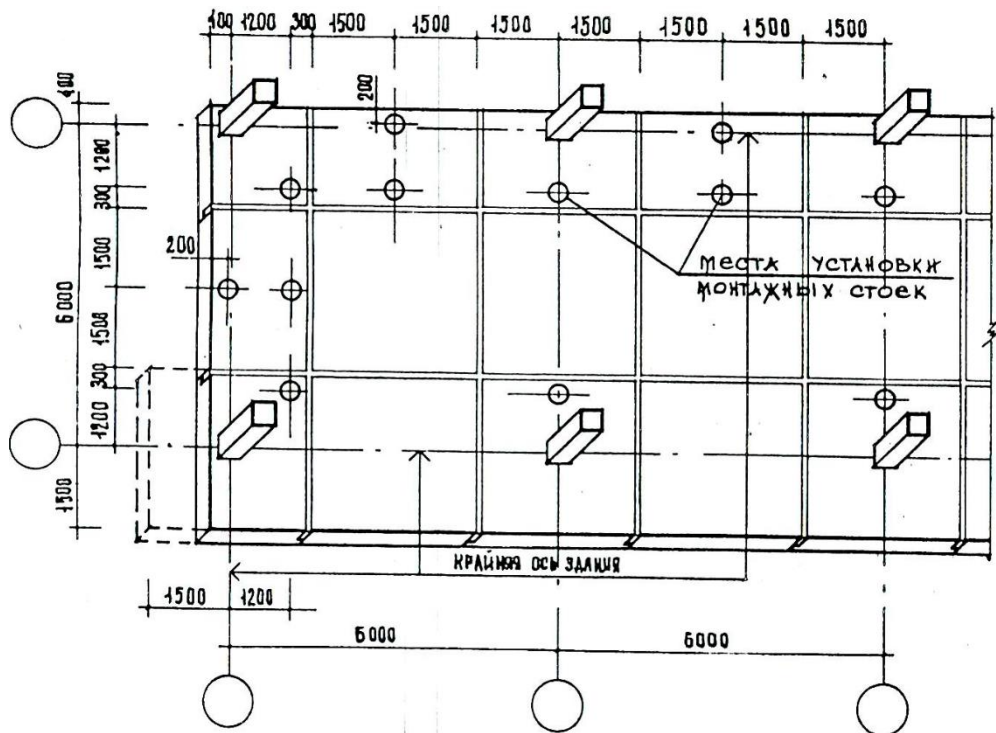


Рис.12. Схема установки стійок під консольними частинами плит по крайніх вісях будинку.



Рис.13. Вигляд консольних частин будинку в процесі монтажу і кріплення елементів каркасу.

Стійки знімаються тільки після того, як перекриття наступного (з аналогічною установкою стійок) поверху змонтовано, замонолічено і бетон набрав не менше 70% проектної міцності.

Одномаршеві сходи встановлюються з перекриття на перекриття із закріпленням в верхній частині і вільним опиранням в нижній.

2-х маршеві сходи, складені із Z-образних маршів, монтуються з опиранням і закріпленням в верхній і нижній частині і опиранням проміжних площадок на балку, встановлену в спеціальні отвори в діафрагмах, огороджуючи сходову шахту.

Стіни являються самонесучими конструкціями і служать як огороджуючий елемент будівлі. Стіни можуть бути виготовлені як із традиційних матеріалів, таких як цегла, так і з використання сучасних ефективних утеплюючих матеріалів, таких як: пористий бетон, пінобетон, пінопласт-утеплювачі та інші прогресивні види огороджуючи конструкцій.

1.8 Циліндрична сталобетонна опора будівель та споруд нового типу

Зменшення матеріалоемності елементів та систем при будівництві будівель та споруд, в тому числі може бути досягнуто шляхом розробки, дослідження та впровадження нових ефективних різновидів конструкцій в цілому або їх окремих елементів. Так, останнім часом, при спорудженні опор будівель та споруд все частіше застосовуються сталобетонні несучі елементи (рис.1,а,б) [91, 92], до яких, в першу чергу, відносяться труобетони, а також різноманітні системи з непрямым армуванням – поперечним армуванням у вигляді радіальних кілець, хомутів, спіральної намотки тощо.

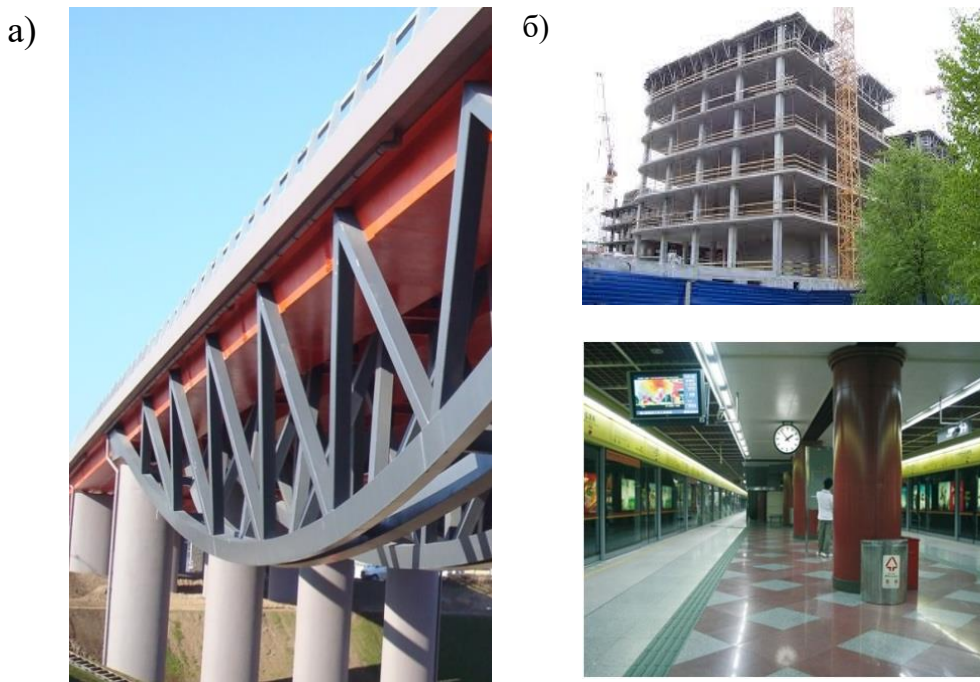


Рисунок 1. Конструктивні рішення сталобетонних циліндричних опор будівель та споруд

Відомо, що зовнішнє листове армування, у вигляді обойм, виконує одночасно силові, захисні та технологічні функції. Так, в сталобетонних несучих елементах опор будівель та споруд, присутність обойми, яка обмежує переміщення бетону в поперечному напрямку, призводить до збільшення міцності бетону, а бетон всередині оболонки-обойми, в свою чергу, збільшує її

стійкість. Вказана обставина є визначальною при спорудженні опор, що витримують високий рівень навантаження.

Відомі теоретичні та експериментальні дослідження сталобетонних циліндричних елементів з непрямым армуванням у вигляді спіральної обмотки, сіток, радіальних кілець тощо, що виконані наприклад М.М. Абрамовим, О.Ф. Виноградовою, В.І. Гнедовським, М. Консидером, В.П. Некрасовим, Р. Залигером, В.С. Шмуклером, М.С. Saïidi, N. Krishnamara, P. Li, P. Paultre, R. Eid, S.K. Kunnath, W.J. Yi, Y. C. Ou, B. Stojadinovic та інші; а також сталобетонних елементів, де в якості армування прийнята сталева труба. Цим дослідженням присвячені роботи: Р.В. Воронова, О.О. Гвоздева, В.В. Дегтерьова, О.А. Долженко, Д.А. Єрмоленко, В.А. Катаєва, О.І. Кікіна, Ф.Є. Клименко, А.Л. Крішана, А.Ф. Ліпатова, Л.К. Лукши, І.Г. Людковського, О.В. Назарова, В.А. Росновського, Р.С. Санжаровського, М.Ф. Скворцова, Л.І. Стороженко, К.Л. Сурова, В.А. Труля, В.М. Фонова, Е.Д. Чихладзе., В.С. Шмуклера, Z.C. Girgin, S.C. Chun, S.H. Lee, B. Oh, A.Z. Fam, S.H. Rizkalla, H.M. Mohamed та інші.

Одно з перших застосувань у вітчизняному будівництві сталобетон отримав у конструкціях моста [93]. Ще в 1919 році при відновленні опор мосту через річку Дон М.М. Абрамовим було запропоновано реалізувати ідеї А. Консидера та В.П. Некрасова, тобто використовувати заповнені бетоном сталеві труби великого діаметру в якості опор.

Слід відмітити, що сталобетонні опори є достатньо оправданою альтернативою бетонним, залізобетонним та металевим. Зокрема, використання трубобетонних конструкцій дозволяє:

- ефективно задіяти низко міцний бетон;
- в 1,5-2 рази знизити витрату бетону, що в свою чергу в 1,8-3 рази знижує вагу конструкції;
- вдвічі знизити витрати праці у зв'язку з відсутністю арматурних, зварних робіт та робіт з установки та демонтажу опалубки.

Трубобетонні конструкції володіють всіма перевагами металевих

конструкцій в плані монтажу, відрізняючись при цьому більш високою вогнестійкістю, такі конструкції витримують значно більші навантаження, в порівнянні зі звичайними армованими опорами [94].

Ще одним із раціональних шляхів економії бетону та металу ї непряме армування [95]. Перші конструктиви, що були виконані з застосуванням непрямого армування, були представлені ще на початку минулого століття. Так, в 1900 році М. Консидер [93] запропонував конструктив з непрямым армуванням (рис.2,а) у вигляді спіральної обмотки, з метою створення бічного тиску, а М.М. Абрамов – зигзагоподібну арматуру між повздовжніми стрижнями. В 1907 році В.П. Некрасов рекомендував застосовувати дротяні сітки [95], а Р. Залигер – кільця-хомути (рис. 2,б) [95]. Саме роботи даних авторів та їх нащадків заклали основу для використання поперечного армування, тобто створення конструкцій, що працюють з ефектом обойми.

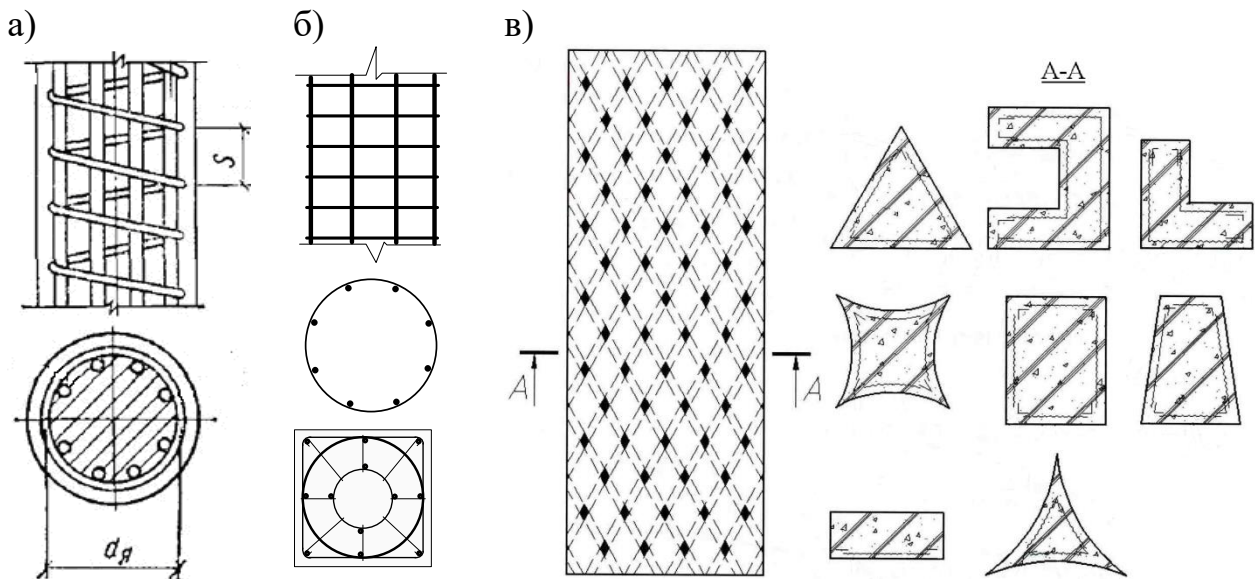


Рисунок 2. Деякі поперечні перерізи непрямого армування

Також дослідження непрямого армування у вигляді спірального армування, хомутів та радіальних кілець наводяться такими авторами, як W.J. Yi, P. Li, M.S. Saiidi, P. R. Paultre, N. Krishnamara, A. H. Varma, Y.-S. Chung, Y. C. Ou та інші.

Слід відмітити, що таке армування поряд з такими позитивними якостями,

як збільшення несучої здатності, економії металу та бетону, також має ряд недоліків – високу трудомісткість виготовлення конструкцій, а також більшу деформативність конструкцій в поздовжньому напрямку.

Конструктив нового типу з непрямым армуванням, у вигляді сітчастої обойми (рис. 2, в) виконаної з просіченого листа [96] був запропонований В.С. Шмуклером [97]. Однак відмітимо, що автором експериментально були досліджені тільки зразки балки, а в масиві запропонованих поперечних перетинів відсутній найбільш раціональний круглий поперечний переріз.

У зв'язку з чим запропоновано та розглянуто циліндричну сталобетонну опору нового конструктивного типу. Відмінністю від традиційних рішень є те, що в якості обойми використовується не суцільний, а просічений лист (рис.3).

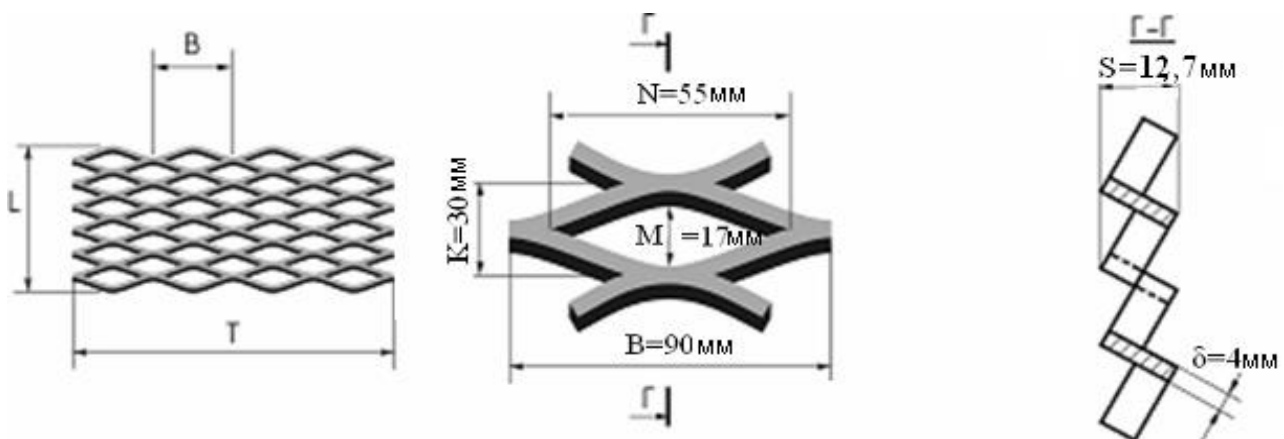


Рисунок 3. Основні геометричні характеристики просічено-витяжного листа

Просічено-витяжний лист представляє собою металеве полотно з рифленою по верхнюю та рівномірно розташованими на ній комірками, що утворюють рисунок луски.

Такий лист має цілий ряд переваг [97-99]. Це:

- безвідходна технологія його виробництва, що реалізується шляхом просікання та подальшим витягуванням ділянок суцільного листа-заготовки, що виконується на спеціальному пресі (детальне дотримання технології виготовлення дозволяє забезпечити задану величину жорсткостних характеристик);

- знижену, в порівнянні з суцільним листом, витрату матеріалу (в середньому просічено-втяжний лист є до 69% легше [100], по відношенню до суцільного листа металу аналогічних розмірів та товщини), при цьому зберігаються необхідні показники його міцності;

- поліпшене зчеплення листа з бетонним ядром, причому без створення спеціальних анкерів;

- збільшена корозійна та вогнева стійкість конструкції за рахунок наявності у неї захисного бетонного шару;

- можливість варіювання розмірами комірки листа, кутом нахилу її твірних, а також товщиною листа, що дає можливість надання конструкції раціональних характеристик (рис.3).

Згідно досліджень, що були проведені В.С. Шмуклером, при куті нахилу ребер решітки біля 5° в комірках утворюються бетонні клини, що збільшують здатність опору кільцевим переміщенням. При цьому куті нахилу зберігається максимальна згинальна жорсткість листа та має місце необхідний ефект обтиснення бетону в комірці [97, 101]. Крім того, виключається витиснення бетону з комірки до вичерпання несучої здатності листа.

На підставі вищевикладеного, детальніше розглянуто особливості конструкції сталобетонного елемента, що містить обойму у вигляді просіченого листа [98, 101]. Сталобетонний елемент (рис.4) містить зовнішню металеву оболонку, виконану з просіченого листа 1, що має ромбічну решітку, бетону ядро 2, зварний шов, або з'єднувальні стержні із зігнутого профілю (прокату або плоских листів). З'єднувальні стержні кріпляться до листів металевої оболонки за допомогою контактної зварки або іншими спеціальними засобами.

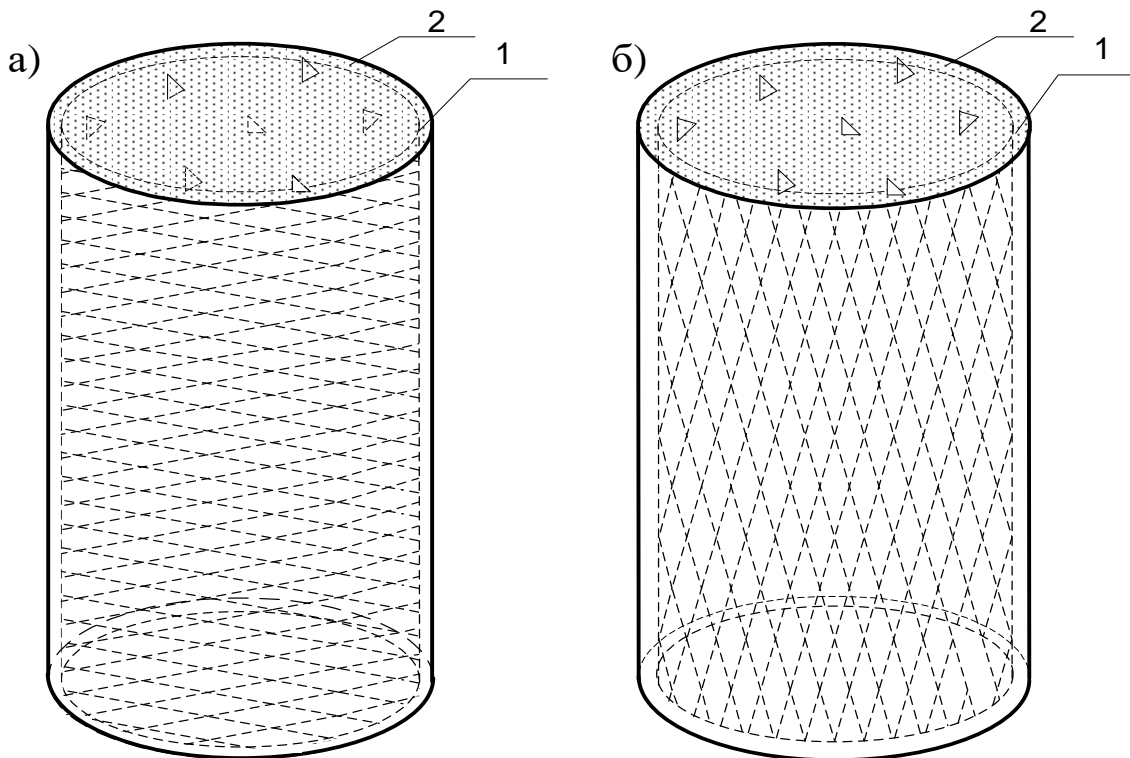


Рисунок 4. Сталобетонних несучій елемент з обіймою у вигляді просіченого листа: а – комірка поперек твірної; б – комірка вздовж твірної

Запропонована обійма нового типу являє собою композитний матеріал, де роль армування виконує просічено-витажний лист (рис.5), виготовлений з суцільного сталевго листа заготовки за представленою вище технологією. Цим елемент, що розглядається кардинально відрізняється від зовнішньо подібних структур досліджених В.В. Васильєвим , В.Л. Бидерманом, В.Е. Вильдеманом, А.М. Єлпатьєвським, М.С. Saiidi, Y. C. Ou, Z. C. Girgin [102] та іншими, що утворені шляхом пошарової намотки сталевих ниток у вигляді сітки або спіралей.

Так як запропонована просічено-витажна (сітчаста) обійма представляє собою композитний матеріал, особливістю якого є анізотропія, тобто присутня різна міцність та жорсткість в напрямках, що співпадають та не співпадають з напрямком армування [103, 104].

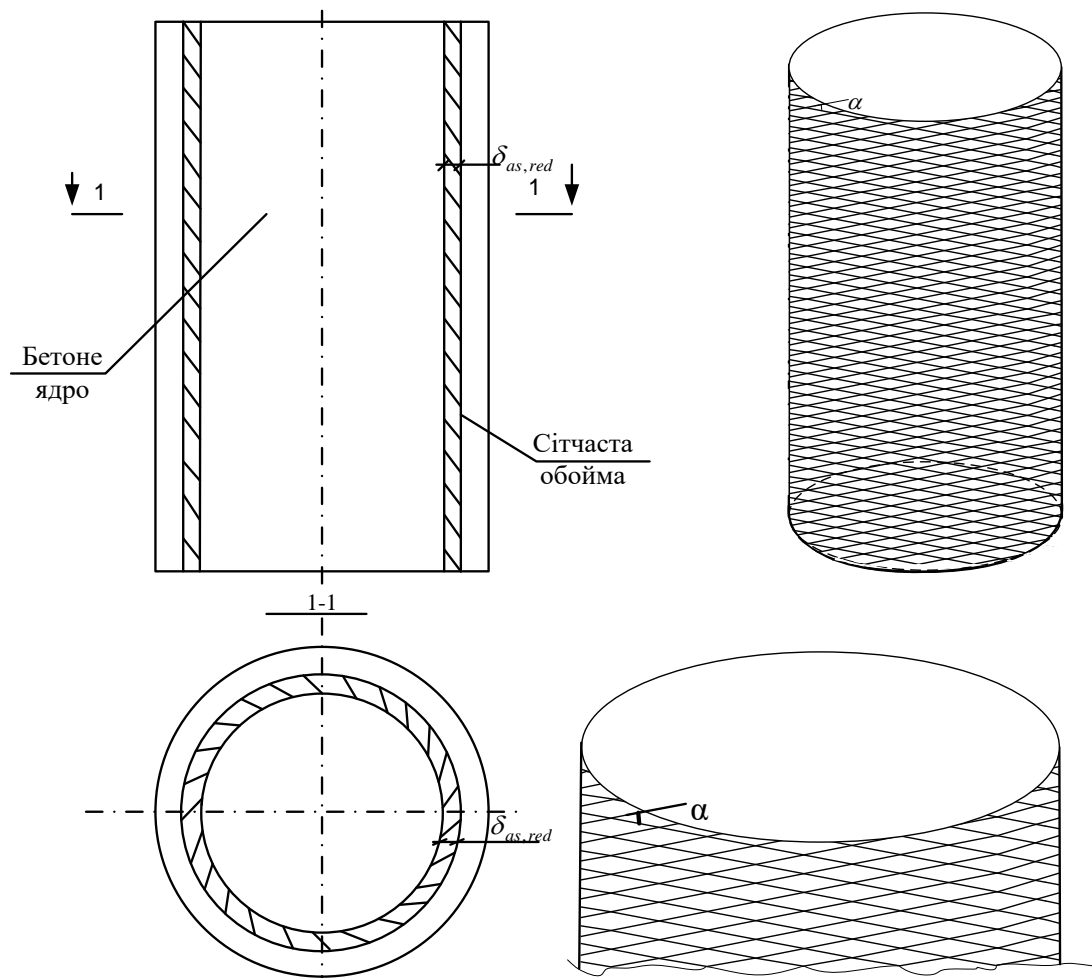


Рисунок 5. Визначення оптимального кута, що визначає напрямок комірок обійми, відносно твірної конструктивну

При формуванні моделі приймаються наступні параметри просічено-витяжного листа, що задаються вектором:

$$\{\bar{x}\}^T = \{\alpha, R_r, \delta, S, B, M, N, K, B\}, \quad (1)$$

де α – кут нахилу між твірними комірок просічено-витяжного листа;
 R_r – середній радіус обійми нового типу; δ – товщина листа заготовки;
 S – габаритна товщина листа; B – крок комірок по висоті;
 M – ширина комірки; N – висота комірки; K – крок комірок за шириною;
 B – ширина подачі комірок (ДСТУ 8706-78).

З усіх запропонованих параметрів найбільш інформативним та одночасно інтегруючим в собі решту параметрів є кут нахилу комірок просічено-витяжного листа. Тому, враховуючи складну структуру сітчастої обойми циліндричного сталобетонного несучого елемента, в першу чергу, встановлюється оптимальний кут нахилу комірок при якому деформування обойми буде викликати максимальне обтиснення бетонного ядро.

Так, в залежності від кута α в ході навантаження може мати місце три різновиди деформування [105] сталобетонного несучого циліндричного елемента (рис.6). З рисунка 6 бачимо, що для досягнення максимального обтиснення обоймою нового типу найбільш оптимальним є другий тип деформування (рис. 6, б).

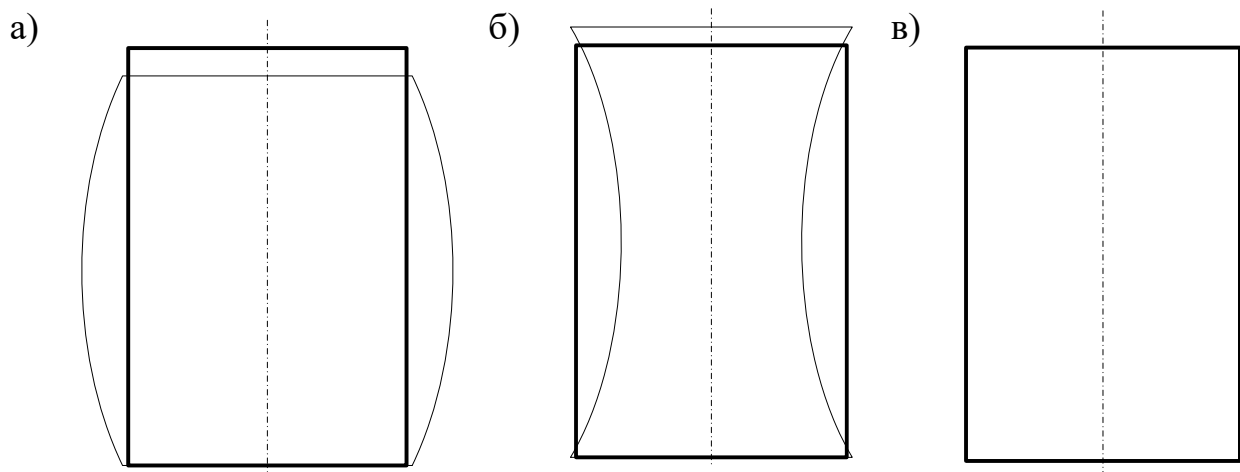


Рисунок 6. Схема деформування обойми:

а – перший вид деформування; б – другий вид деформування;

в – третій вид деформування

Для визначення оптимального кута нахилу, що забезпечує даний вид деформування, на основі рішення [105] та з умови того, що жорсткість ниток просіченого листа більше жорсткості бетонного ядра, вважається, що все зусилля сприймається нитками. Виділимо елемент з циліндра з розмірами $a(AB)$ та

$a \cdot \operatorname{tg} \beta (BC)$. В цьому випадку в перерізі AB та BC потрапляє однакова кількість ниток (рис.7).

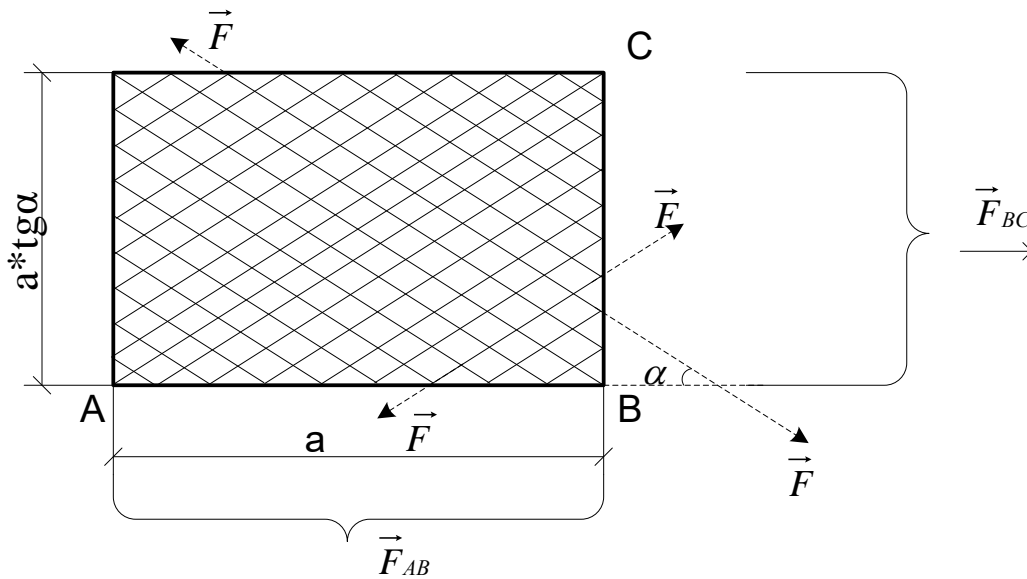


Рисунок 7. Виділений елемент циліндра

Позначаємо через F зусилля в нитці. Тоді рівнодіюча всіх сил в перерізі AB та BC буде дорівнювати відповідно:

$$F_{AB} = F \cdot n \cdot \sin \beta,$$

$$F_{BC} = F \cdot n \cdot \cos \beta,$$

де n – кількість ниток, що потрапили до перерізу AB .

Відомо, що при навантаженні циліндра внутрішнім тиском:

$$\frac{F_{BC}}{a \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 2 \frac{F_{AC}}{a},$$

де $\frac{F_{BC}}{a \cdot \operatorname{tg} \beta}$, $2 \frac{F_{AC}}{a}$ – відповідно середнє окружне та осьове напруження.

$$\text{Тоді } \frac{F \cdot n \cdot \cos \beta}{a \cdot \operatorname{tg} \beta} = 2 \frac{F \cdot n \cdot \sin \beta}{a},$$

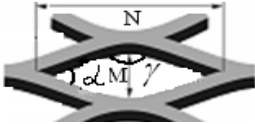
якщо вважати, що $F \cdot n \neq 0$; $a \neq 0$, тоді

$$\frac{\cos \beta}{\operatorname{tg} \beta} = 2 \sin \beta; \Rightarrow \operatorname{tg}^2 \beta = 0,5; \Rightarrow \beta = 35^\circ 16'.$$

Таким чином, при куті нахилу комірок $\beta = 35^{\circ}16'$ має місце раціональний, для обтиснення бетонного ядра, другий вид деформування, визначаючий горизонтальну орієнтацію комірок. Враховуючи, що $\alpha = 2\beta$, то $\alpha < 70^{\circ}32'$.

Результати визначених кутів нахилу комірок в повздовжньому та поперечному напрямках для просічено-витяжного листа, заданого ДСТУ 8706-78 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Визначення кутів нахилу комірок просічено-витяжного листа

Позначення просічено-витяжного листа	Товщина листа заготовки, мм	Подача Б мм	Крок комірки В, мм	Габаритна товщина S, мм	Розмір просвіту комірки $M \times N$	$\alpha = 2\arctg \frac{M}{N}$	$\gamma = (180 - \alpha)^{\circ} = 2\arctg \frac{N}{M}$
							
406	4	6	90	12,7	17×53	34°21'	145°39'
506	5	6	110	13,0	23×58	43°15'	136°44'
508	5	8	110	16,8	20×50	43°36'	136°24'
510	5	10	110	20,5	16×67	26°51'	153°08'
606	6	6	125	13,4	17×64	29°45'	150°15'
608	6	8	125	17,1	25×70	39°18'	140°41'
610	6	10	125	20,8	15×64	26°23'	153°37'

З таблиці 1 бачимо, що оптимальним напрямком для максимального обтиснення бетонного ядра сітчастою обіймою є напрямком комірок поперек твірної сталобетонного циліндричного несучого елемента.

На підставі проведеного теоретичного розрахунку були проведені експериментальні дослідження зразків, зовнішнім діаметром 350 мм (ПВ350п), де обійма виконана з просічено-витяжного листа, та має зовнішній діаметр 325 мм з комірками, розташованими поперек напрямку твірної конструктиву (рис. 5). Дослідження передбачали навантаження осьовим та позакцентровим малоцикловим навантаженням до руйнування в послідовності, що представлена

на рисунку 8 [106-108].



Рисунок 8. Структурна схема та послідовність проведення серії експериментальних досліджень

Всі зразки даної серії, підготовлені до випробувань, при установці до пресу П-500 ретельно центрувались з віссю пресу та додатковими пристосуваннями для передачі запланованого навантаження (рис. 9, рис. 10).

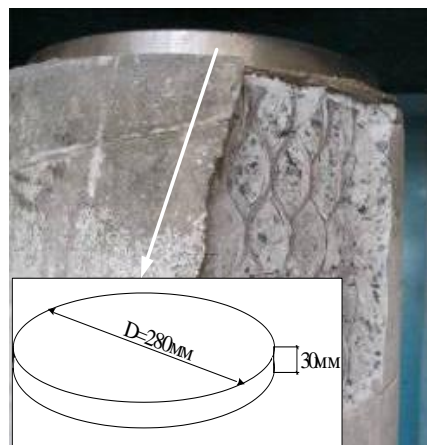


Рисунок 9. Додаткові пристрої для передачі зовнішнього навантаження тільки на бетонне ядро сталебетонного зразка

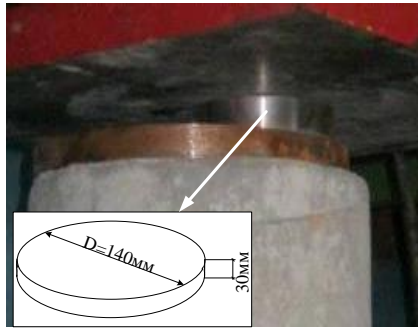


Рисунок 10. Сталеві опорні частини для осьового та позакентрового малоциклового навантаження сталобетонних зразків

Випробування при малоциклових завантаженнях проводились шляхом циклічного навантаження дослідного зразка від нуля до заданого рівня навантаження (включаючи стадію руйнування) з обумовленим кроком та наступним розвантаженням. Крок навантаження залежав від типу зразків та ексцентричності прикладення навантаження (рис. 11). Заміри за допомогою відповідної вимірювальної системи (рис. 12) виконувались двічі

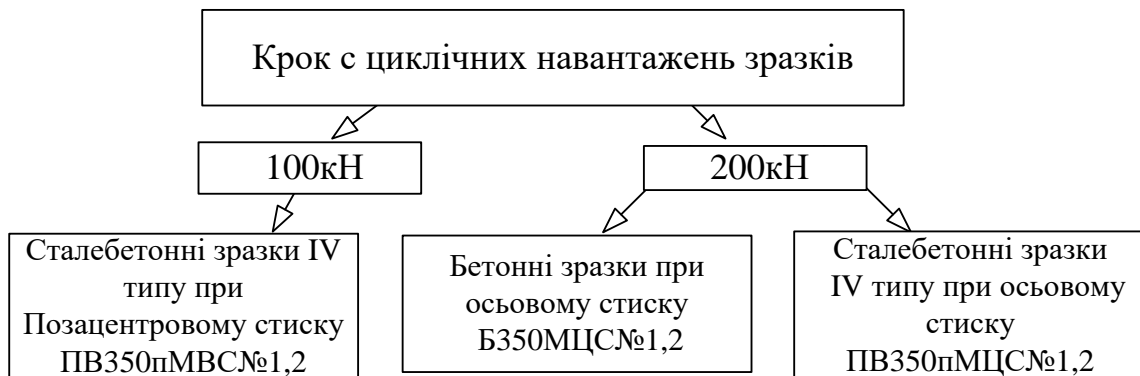


Рисунок 11. Схема передачі циклічного навантаження при випробуваннях

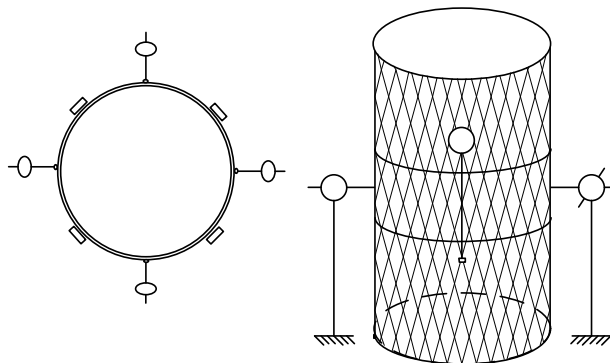


Рисунок 12. Схема установки індикаторів цифрового та годинникового типу для вимірювання поперечних переміщень та повздовжніх деформацій, відповідно

В результаті осьових та позacentрових малоциклових навантажень (ексцентриситет складав $e = 0,5R$) було отримано величини зусиль, при яких сталося руйнування зразків, що досліджувались (табл. 2).

Таблиця 2. Характеристики зразків експериментальних досліджень

№ п/п	Маркування зразка	Навантаження	Висота зразків, мм	Зовнішній діаметр обойми, мм	Характеристична (нормативна) міцність бетону на стиск $f_{ck, prism}$, МПа	Руйнівне навантаження, N_u , кН	Коефіцієнт збільшення несучої здатності	Коефіцієнт зниження несучої здатності за рахунок ексцентриситету $e=0,5R$
1	Б350МЦС№1	малоциклове	700	-	11,1	1490	-	-
2	Б350МЦС№2	малоциклове	700	-	11,1	1440	-	-
3	ПВ350пМЦС№1	малоциклове	700	325	11,1	2250	1,61	-
4	ПВ350пМЦС№2	малоциклове	700	325	11,1	2360	1,67	-
5	ПВ350пМВС№1	малоциклове	700	325	11,1	1180	-	0,51
6	ПВ350пМВС№2	малоциклове	700	325	11,1	1230	-	0,53

Отримані в результаті експериментальних досліджень величини руйнівних навантажень (табл. 1) показали, що коефіцієнт збільшення несучої здатності (ефект обойми) у запропонованих сталобетонних зразках привів до збільшення міцності \sim у 1,64 рази.

При позacentровому прикладанні навантаження ($e = 0,5R$) несуча здатність сталобетонних зразків, що досліджувалися (табл. 2) знизилася приблизно у 2 рази.

За результатами показників зафіксованих передбаченою системою вимірювань були побудовані залежності повздовжніх деформацій (рис. 13) та відносних поперечних переміщень (рис. 14) від рівня осьового та позacentрового малоциклового навантаження представлених зразків з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної конструктиву.

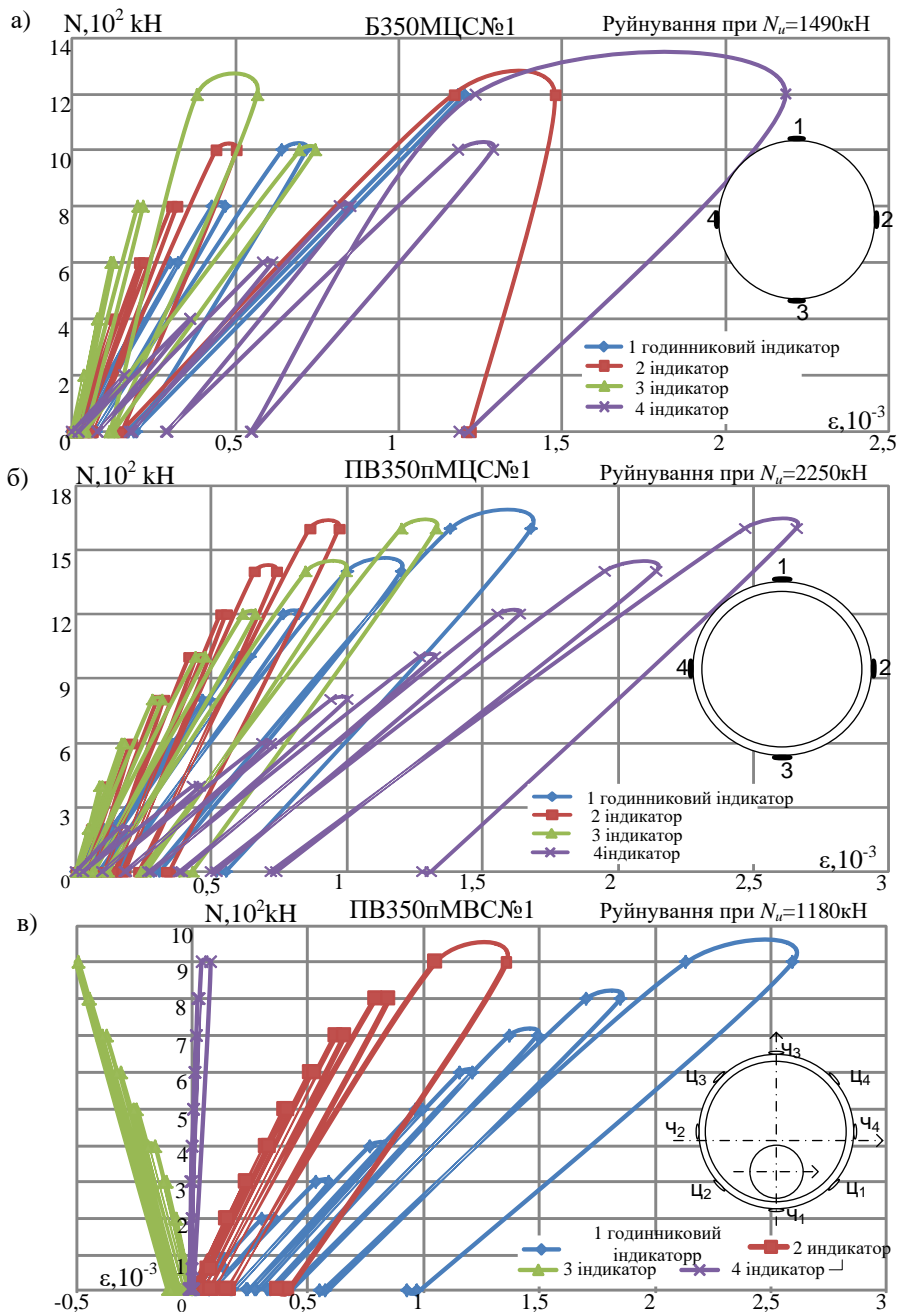


Рисунок 13. Залежності поздовжніх деформацій зразків від рівня осьового та позацентрового малоциклового навантаження:

а – бетонний зразок; б, в – сталобетонний зразок з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної конструктиву

Так, залежності представлені на рисунку 13, а,б ілюструють рівність поздовжніх деформацій сталобетонного зразка з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної та чисто бетонного зразка, тобто сітчаста обойма з комірками, що розташовані поперек твірної при стиску в поздовжньому напрямку, працює за аналогією зі спіральним армуванням. При цьому

повздовжні деформації сталобетонних зразків з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної при осьовому та позацентровому стиску дорівнюють значенням представленим на рисунку 13 б, в.

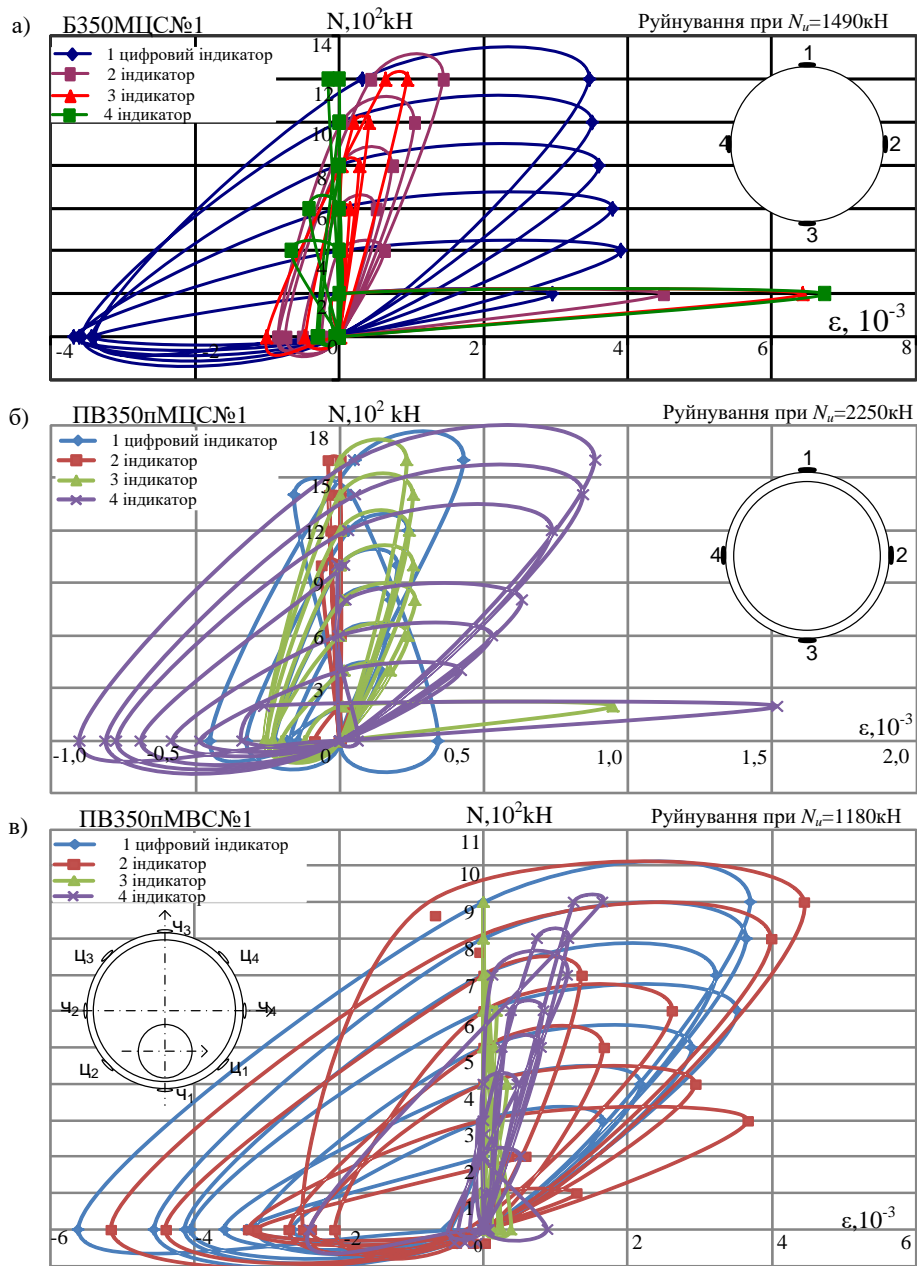


Рисунок 14. Залежності поперечних переміщень зразків від рівня осьового та позацентрового малоциклового навантаження:

а – бетонний зразок; б, в – сталобетонний зразок з комірками, що розташовані поперек напрямку твірної конструктивну

Залежності, що представлені на рисунку 14, показують, що відносні поперечні переміщення сталобетонного зразка з комірками, що розташовані

поперек напрямку твірної при малоцикловогом стиску в 4 рази менше відповідного бетонного зразка.

Таким чином представлені дослідження показали ефективність запропонованої конструкції та доказали перспективність подальших більш детальних досліджень.

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGY

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.2.1

2.1 Применение фуллерена и фуллереноподобных веществ при разработке препаратов адсорбентов

Анализ литературных данных по основным характеристикам ряда сорбционных материалов, полученных в результате термической обработки растительного сырья, показал эффективность температуры на производительность пиролиза растительного сырья и свойства карбонизатов, образующихся в диапазоне температур 250–450°C.

Проведенные исследования позволяют заключить, что температура является основным фактором, влияющим на процесс карбонизации и выхода конечного продукта. Независимо от атмосферы пиролиза выход продукта из растительного сырья со значительным увеличением температуры снижается. В настоящее время основным сырьем для промышленного получения адсорбентов являются во многих исследованиях органические вещества – древесина, ископаемые уголь, торф, остатки переработки сельскохозяйственного производства из-за их дешевизны и большого количества. Таким образом, есть основания для создания сорбентов на основе растительного сырья с включением в их состав таких наноструктур как гидратированные фуллерены, обладающие сорбционными свойствами. Концентрированные водные растворы гидратированного C₆₀ (фуллерены), сокращенно C₆₀FWS, являются молекулярно-коллоидными системами сферических фрактальных кластеров, структурной единицей которых является прочный, высокогидрофильный супрамолекулярный комплекс. Комплекс состоит из молекулы фуллерена C₆₀, заключенной в первую гидратную оболочку 24 молекулы воды – гидратированный фуллерен C₆₀ (C₆₀H_yF_n). Включение фуллеренов в состав препарата создаст возможность использования углеродсодержащего наноконпонента в качестве сорбента для утилизации вредных веществ из воды.

В работе показано, что одной из основных операций, определяющих процесс получения углеродных материалов является их термическая обработка, при этом происходят различные физико-химические изменения, что существенно влияет на эксплуатационные свойства готовой продукции. На примере таких углеродных материалов как кокс, сажа, и др. показана возможность целенаправленной модификации и изменения их свойств контролируемой термической обработкой или окислением. В зависимости от условий и последовательности обработки углеродных материалов, свойства их существенно различаются.

Последние годы уделяется большое внимание материалам на основе углерода [109–112]. Изделия на их основе имеют высокую прочность при малом весе, устойчивы к воздействию высоких и низких температур, химических агентов. Углеродные материалы находят широкое применение в различных областях науки и техники. Особое место среди углеродных материалов занимают высокопористые тела, имеющие развитую поверхность. К таковым относятся активный уголь, сажа, терморасширенный графит, сибунит и другие материалы, полученные на основе углерода [113–116].

Гидратированные фуллерены создают в своем окружении упорядоченную, структурно гетерогенную водную среду, в которой направленность и кинетика процессов отличается от происходящих в чистой (неупорядоченной) воде. Они способствуют образованию пор, необходимых для активной сорбции. При взаимодействии с карбонизированными материалами, полученными из растительных отходов сельскохозяйственного производств (например лужги из семян подсолнечника или семенного ядра фиников) можно добиться получения поровых материалов, которые могут служить сорбентами. Полученные из растительного сырья сорбенты можно применять для извлечения тяжелых металлов из нефтесодержащих вод а также способствовать очистке воды от нефтяных примесей.

Высопористыми углеродными материалами (УМ) также являются углеродные нанотрубки и нановолокна. К углеродным нановолокнам можно

отнести и материал, образующийся в результате термокаталитического действия на углеводороды или диспропорционирования монооксида углерода на поверхности железа, кобальта, никеля и др. [112]. Следует отметить, что ранее УМ рассматривали как нежелательный продукт, который приводит к дезактивации катализаторов переработки углеводородного сырья и СО-содержащих газов. В последние годы, в связи с появлением перспективы практического использования УМ, отношение к ним изменилось. Об этом свидетельствуют многочисленные публикации отечественных и зарубежных журналов [113].

Имеются данные об обнаружении «полой молекулы», состоящей из закрученных слоев графита. В 1973г. предсказана возможность наличия устойчивого замкнутого иона из 60 атомов углерода, а затем теоретически рассчитана такая структура (C_{60}) Поверхность такого соединения представлена 20 неравносторонними пятиугольниками, в которых каждый атом принадлежит одновременно двум шестиугольникам, и одному пятиугольнику (подобно крышке футбольного мяча) [111-112]. И только через несколько лет после синтеза фуллеренов они были обнаружены в естественном природном виде – в карельских шунгитах. Начаты попытки использования минералов шунгита. Шунгитовые фильтры оказались существенно более эффективными, чем обычные угольные. Шунгиты являются не только хорошими сорбентами, но и обеспечивают выделение в воду фуллеренов в комплексе с органическими молекулами и микроэлементами, чем и обуславливается их многочисленные свойства [113, 114].

Все больше внимания уделяется разработке модифицированных сорбционных материалов (СМ) с заданными свойствами: биоразлагаемых, с активными группами, стимулирующими процесс сорбции тех или иных компонентов, с высокой удельной поверхностью, пористостью, гидрофобностью, хорошей плавучестью, способностью к регенерации и многократному использованию. Для получения адсорбента наш выбор на основании литературных данных основан на одном из способов получения

углеродного сорбента из растительного сырья. Метод включает нагрев со скоростью 10–15°C/мин химически обработанного растительного сырья до температуры 250–450°C с последующей временной выдержкой его и его карбонизацию.

В качестве растительного сырья использовали отходы обмолота лузги – оболочки семян семечек подсолнечника, химическую обработку которых осуществляют водным раствором тетрафторбората аммония с концентрацией 25–35% и соотношением 1:1 одновременно с карбонизацией нагревом и временной выдержкой в течение 5 минут.

Кроме того для создания эффективного сорбирующего материала можно применять сочетание продуктов растительных отходов в кооперации с гидратированными фуллеренами.

Концентрированные водные растворы гидратированного C₆₀, сокращенно C₆₀FWS, являются молекулярно-коллоидными системами сферических фрактальных кластеров, структурной единицей которых является прочный, высокогидрофильный супрамолекулярный комплекс, состоящий из молекулы фуллерена C₆₀, заключенной в первую гидратную оболочку (24 – гидратированный фуллерен C₆₀ (C₆₀H_yF_n)). Стабильно первая близкосвязанная гидратная оболочки, поддерживается следующими упорядоченными водными оболочками.

Размер C₆₀H_yF_n соответствует 1,6–1,8 нм. Кластеры (вторичные ассоциаты) C₆₀H_yF_n образуются путём слияния их гидратных оболочек. Размеры таких сферических кластеров соответствуют ряду значений: 3.4; 7.1; 10.9; 14.5; 18.1; 21.8; 25.4; 28.8; 32.4; 36.0 нм.

Гидратированные фуллерены создают в своем окружении упорядоченную, структурно гетерогенную водную среду, в которой направленность и кинетика химических и биохимических процессов отличается от происходящих в чистой (неупорядоченной) воде [117–119]. Водные растворы гидратированного фуллерена C₆₀ обладают большим и универсальным спектром даже положительной биологической активности. Поэтому актуальна разработка

экспериментальных методов для определения гидратированных фуллеренов в растворе с биологическими добавками.

Для определения количества фуллеренов в растворе изучали акустическую эмиссию (АЭ), проводившуюся с применением современного акустико-эмиссионного комплекса A-Line32 [121]. Этот метод использовался для доказательства существования структурных образований в воде с гидратированными фуллеренами и исследования динамики их превращений. Акустическая эмиссия легко регистрируется при растворении в воде различных солей, смешивании гомогенных жидкостей, плавлении льда, химических реакциях и других аналогичных процессах [122-123].

Размеры кластеров в значительной степени зависят от концентрации $C_{60}H_{y}F_n$ в растворе. Чем меньше концентрированный раствор, тем меньше в нем средний размер кластера. При разведении $C_{60}FWS$ происходит динамический процесс перераспределения молекулярных структурных единиц до установления равновесного состояния с определенным дисперсным распределением кластеров, характерным для данных условий. Процесс установления дисперсионного равновесия может длиться достаточно продолжительное время. Установлено, что концентрация $C_{60}H_{y}F_n$, эквивалентная 144 мг/л (200 микро/л) C_{60} , является одной из оптимальных при длительном хранении $C_{60}FWS$.

Растворы с концентрацией 14,4 и 1,0 мг/л (20 и 1,4 микро/л, соответственно) удобны для испытаний малых и сверхмалых доз $C_{60}H_{y}F_n$, поскольку при разведении растворов с концентрацией 14,4 мг/л происходит быстрое разукрупнение кластерных структур. При концентрации 1,0 мг/л и менее, единичные $C_{60}H_{y}F_n$ существуют в растворе в виде изолированных структур.

При применении $C_{60}FWS$ рекомендованный диапазон концентраций гидратированного фуллерена C_{60} в конечном продукте составляет: – в продуктах водосодержащих (вода питьевая, вода для приготовления пищевых продуктов, алкогольные напитки, безалкогольные напитки, нефтепродукты и т.п.) – $(0,01–10) \times 10^3$ /л. Проведение контроля содержания фуллерена C_{60} необходимо для

обеспечения безопасности применяемых сорбентов. Диапазон обнаружения методики составляет от 0,5 мг/дм³ до 500 мг/кг.дм³. 1. Краткая характеристика фуллерена C₆₀ Общепринятое название: фуллерен C₆₀. Номер CAS: 99685-96-8. Фуллерены представляют собой мелкокристаллические порошки черного цвета, без запаха, практически не растворимые в полярных растворителях, слабо растворимы в алканах нормального строения, наиболее высокой растворимостью фуллеренов характеризуются ароматические углеводороды и их производные.

Методика определения фуллерена C₆₀ в безалкогольных и водных нефтесодержащих растворах, методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Принцип метода: Методика основана на определении фуллерена в жидких растворах методом обращеннофазной высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием диодно-матричного детектора (длина волны 340 нм) после экстракции фуллерена из образца бромбензолом.

Подготовка пробы для анализа

Навеску 0,0250 г ± 0,0001 г кристаллического фуллерена C₆₀ количественно переносят в мерную колбу вместимостью 25 см³, растворяют в 15 см³ бромбензола, тщательно перемешивают на магнитной мешалке до полного растворения, доводят полученный раствор бромбензолом до метки (25 см³) и тщательно перемешивают.

0,70 см³ ± 0,01 см³ тщательно перемешанного образца помещают в пробирку для центрифугирования типа «эпшендорф» и добавляют 0,70 см³ бромбензола. Пробирку плотно закрывают, тщательно встряхивают в течение 10 минут и центрифугируют 25 минут в интервале оборотов от 4000 до 10000 об/мин. Верхний слой (водный) отбирают и отбрасывают. Аликвота нижнего слоя (200–300 мм, V₀, бромбензол) переносится в виалы с пластиковыми вставками. Виалы устанавливаются в отделение автосемплера. При использовании ручного инжектора алиquotным слоем, содержащим бромбензол, заполняют петлю инжектора.

В случае высоких концентраций фуллерена аликвоту слоя, соответствующего бромбензолу, разбавляют бромбензолом.

Обнаружение и количественное определение фуллерена методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [ВЭЖХ]

Образцы анализируют методом ВЭЖХ на жидкостном хроматографе с насосом высокого давления с подачей растворителя от 0,1 до 5,0 см/мин., оборудованном диодноматричным детектором с переменной длиной волны и системой для сбора и обработки хроматографических данных.

Калибровка хроматографа

Для градуировки в хроматограф вводят пробы рабочих стандартных растворов фуллерена концентрациями 100, 20 и 2 мкг/см объемами 4, 10 и 20 мм (от 8 до 2000 нг), регистрируют их площади и времена удерживания на хроматограммах. При использовании ручного инжектора объем вводимой пробы должен соответствовать объему используемой петли. В этом случае рабочие растворы дополнительно разбавляют, чтобы получить необходимое количество точек в указанном интервале.

Условия проведения обращено-фазовой ВЭЖХ

Детектирование осуществляют при аналитической длине волны 340 нм (при использовании фотодиодноматричного детектора дополнительным подтверждением наличия фуллерена является совпадение УФ-спектра анализируемого вещества в диапазоне от 200 до 400 нм с УФ-спектром фуллерена).

Идентификацию компонентов на хроматограмме осуществляют путем сравнения со временем удерживания стандарта фуллерена и совпадения спектральных данных.

Если пик фуллерена в исследуемом растворе выходит за пределы линейности, хроматографическое разделение проводят повторно после разбавления исследуемого раствора (рис.1).

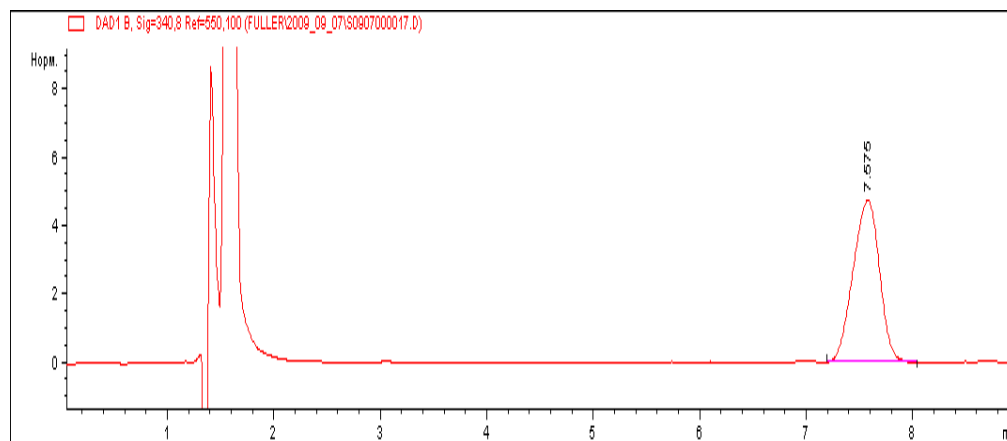


Рис. 1. Пример хроматограммы экстракта фуллерена из раствора (экстрагент – бромбензол), содержащего фуллерен в концентрации 2 мкг/см. Ось абсцисс: время, минуты; ось ординат – интенсивность пика, милливольты. Пики, вышедшие на 1–2 минутах соответствуют бромбензолу.

Пик на 7,6 минуте соответствует фуллерену. Оптическая плотность 340 нм.

Обработка результатов измерения

Содержание фуллеренов в образцах препаратов рассчитывают методом абсолютной калибровки.

Алгоритм проведения оперативного контроля погрешности с использованием метода добавок состоит в сравнении результата контрольного определения. Контроль состоит в разности между результатом контрольного измерения пробы с добавкой ($C'_{ин}$), пробы без добавки ($C_{ин}$) и величиной добавки ($C_{доб}$) с нормативом оперативного контроля (K). Решение об удовлетворительной погрешности принимается при выполнении следующего условия (при $P=0,95$):

$$|C'_{ин} - C_{ин} - C_{доб}| \leq K.$$

Норматив оперативного контроля погрешности рассчитывают по формуле ($P=0,95$):

$$K = 0,84 \times (\Delta C'_{ин} + \Delta C_{ин}).$$

При превышении норматива оперативного контроля погрешности эксперимент повторяют с использованием другой пробы.

Так как фуллерены изменяют структуру воды, это может отразиться на ее плотности. Если воспользоваться электронным измерителем плотности (с

точностью до 5-го знака...1,0000n±m) то по разнице можно сделать оценку структурированности. Для калибровки можно использовать талую воду.

Изучение акустической эмиссии (АЭ) проводилось с применением современного акустико-эмиссионного комплекса. Этот метод использовался для доказательства существования структурных образований в воде с гидратированными фуллеренами и исследования динамики их превращений. Акустическая эмиссия легко регистрируется при растворении в воде различных солей, смешивании гомогенных жидкостей, плавлении льда, химических реакциях и других аналогичных процессах [116].

В том случае, если превращение химической энергии происходит одновременно в виде сотен тысяч отдельных молекулярных актов или в больших сверхмолекулярных образованиях, то выделяемой энергии оказывается достаточно для регистрации акустических колебаний. Параметры АЭ: продолжительность генерации акустических импульсов, сумма импульсов АЭ, активность АЭ (количество импульсов в сек.), энергия импульсов и т.д. существенно изменяются в зависимости от природы соединения и характера процесса. При сохранении одинаковых условий это позволяет использовать ее как новый метод исследования.

Данные таблицы 1 подтверждают факт высокой способности фуллеренов к стабильности физико-химических показателей.

Таблица 1.

Параметры акустической эмиссии при добавлении 0,4 мл разных растворов воды разного молекулярного строения

Параметры АЭ	Вещество, которое добавляют в воду		
		Дистиллированная вода, 0,4 мл	Лед/талая вода, 0,4 мл

Продолжение таблицы 1.

Длительность генерации акустических импульсов	1,5	89	150
Сумма импульсов	6	150	300
Активность АЭ, количество импульсов	до 6	до 200	до 400
Амплитуда, дБ	35	94,5	324,5
Энергия, дБ	71	85	98
Длительность сигнала, мкс	557	до 5000	До 10000
Время нарастания, мкс	102	95	84

Процесс генерации сигналов АЭ раствора гидратированных фуллеренов по сравнению с талой водой постепенно увеличивал интервалы между импульсами. Возникновение сигналов АЭ в талой воде и растворе дрожжевых отходов с гидратированными фуллеренами можно объяснить только структурными перестройками в них. Экспериментальные результаты показывают, что талая вода некоторое время (до суток) может находиться в «активном» метастабильном состоянии. А гидратированные фуллерены резко изменяют структурную организацию вещества, в которое они были добавлены.

Проведенные исследования обнаружили, что при нормальных температурных режимах у стенок посуды, в которой содержится вода, образуются линейные молекулярные цепи молекул воды, которые располагаются перпендикулярно стенкам сосуда. Они включают в себя до шестидесяти молекул. Наличие столь длинных молекулярных цепей объясняется тем, что на стенках сосуда в обычных условиях образуются статические электронные заряды, которые и заставляют молекулы воды выстраиваться в такие длинные молекулярные цепочки. При этом, чем больше статический заряд на стенках сосуда, тем больше образуется цепочек из молекул воды. Потому и происходит выстраивание молекул воды в такие цепи структурированной воды (рис.1)

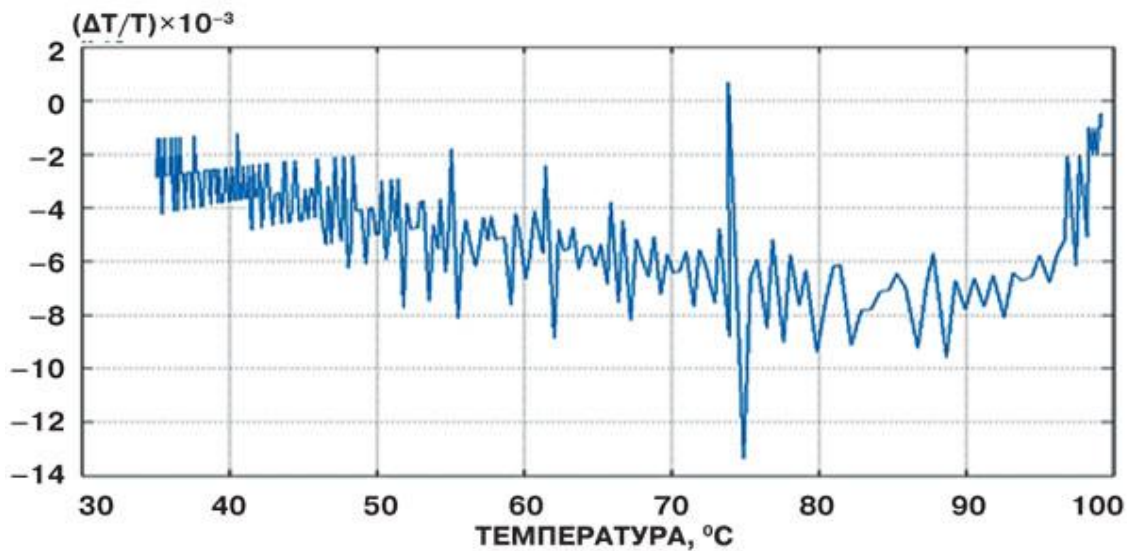


Рис.1. Зависимость изменение амплитуды сигнала АЭ от температуры раствора гидратированных фуллеренов в смеси с биологически активной жидкостью.

Экспериментальное исследование раствора гидратированных фуллеренов (РГФ) и его молекулярной структуры проводили с помощью квантового – силового микроскопа. Такой микроскоп называют "туннельным". Суть этого уникального эксперимента состоит в том, чтобы зарегистрировать энергию соприкосновения связанных агрегатов воды со специальным датчиком – щупом, который с помощью специального устройства перемещался под водой (рис.4). По величине выделенной энергии, с помощью компьютера, определялись размеры и структура частиц, с которыми столкнулся датчик – щуп. По интенсивности сигналов спин-спиновой релаксации исследуемых образцов делали выводы о степени структурирования воды в системах, а также определяли скорость структурирования воды в течение всего исследуемого периода. Установлено, что при хранении интенсивность сигнала ЯМР (T) для всех систем уменьшается при практически неизменной массе образцов. Это позволяет заключить, что с добавлением гидратированных фуллеренов часть влаги переходит в более структурированное состояние. Если предположить, что T_0 – интенсивность в начале хранения, T_1 – интенсивность в конце хранения, T_t – текущее значение интенсивности. Представив переменную T , получим условное относительное изменение интенсивностей сигналов ЯМР, которое для всех образцов будет

изменяться от 0 до 1. Считается, что интенсивность процессов максимальна в пределах, когда амплитуда уменьшается в несколько раз, то есть величина T равна 0,45 усл.ед.

Таким образом установлено, что для разных образцов переменная T приобретает значение 0,45 через разные промежутки времени. Так, напиток (Н), содержащий РГФ (10%), переменная T приобретает значение 0,45 через 2 суток, для (Н) с РГФ 4% – через 3–4 суток. Из экспериментальных данных видно, что процессы структуризации воды в Н и РГФ происходят с относительно большей скоростью (в течение 2 суток). Впоследствии этот процесс протекает менее интенсивно или полностью прекращается, что свидетельствует о стабильности систем (рис.2).

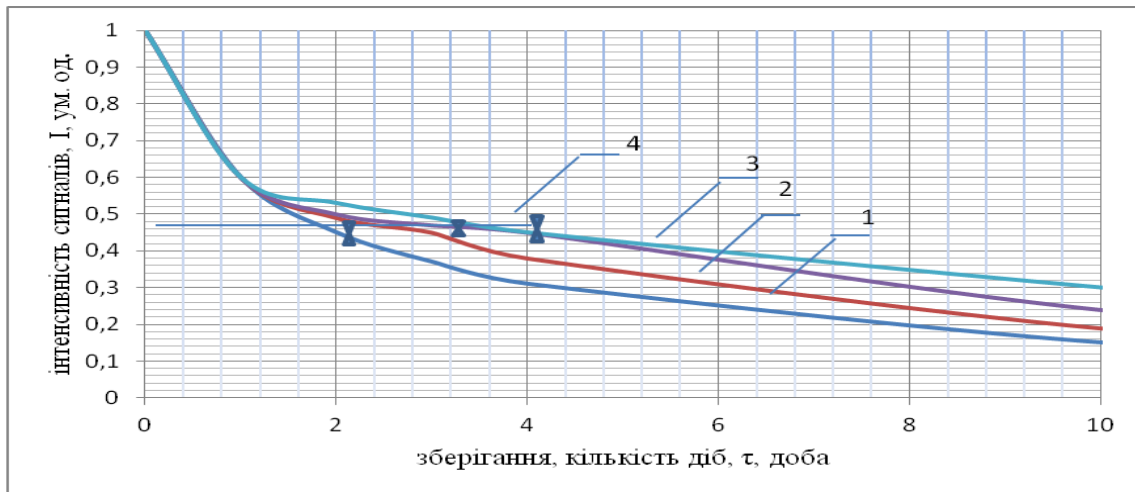


Рис. 2. – Интенсивность сигналов спиновой релаксации: Н – (7%) + РГФ (10%), 2 РГФ (8%), 3–РГФ (6%), 4 –РГФ (4%)

Анализируя полученные закономерности во взаимосвязи с концентрацией сорбента и раствором гидратированных фуллеренов, следует подчеркнуть правильность вывода о снижении подвижности воды как результат формирования метастабильного состояния при использовании более концентрированных РГФ. Про изменение форм связи влаги делали выводы, изучая процесс испарения раствора (РГФ – 4–10%) (рис.3.).

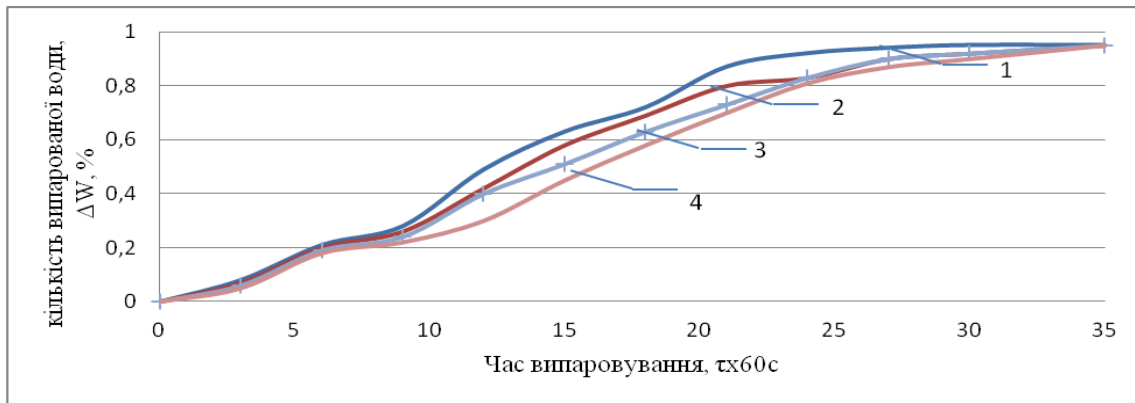


Рис. 3. – Кинетика испарения жидкости относительно её содержания в растворах 1–Н (7%); 2– Н (7%)+РГФ (10%); 3– Н (7%)+РГФ (6%); 4–Н (7%)+РГФ (4%).

На основании данных рис. 3 видно, что с введением в систему раствора сорбента фуллеренов увеличивается влагоудерживающая способность системы. Так, из сорбент+РГФ 4% через 15 минут воды испарилось на 22% меньше, чем в системе сорбент 7%. Эти данные коррелируют с ЯМР-исследованием, подтверждающим увеличение доли структурированной влаги при введении раствора гидратированных фуллеренов. Возможность корректировать скорость испарения воды при термической обработке является важным технологическим фактором с точки зрения понимания процесса термической обработки. Увеличением в препарате частицы связанной воды, снижением ее подвижности можно существенно скорректировать свойства продуктов с гетерогенной структурой. При этом увеличить их технологическую стабильность, поэтому фуллерены были выбраны нами для структурирования раствора жидкости в составе сорбентов.

Определение теплоты испарения проводилось на дериватографе ДЗ427-И000 (ВМР). Данный прибор позволяет по термографическим кривым определить массу, скорость ее изменения, рассчитать изменение энтальпии различных физико-химических превращений, энергию связи между молекулами. На рис.4-5. показана дериватограмма РВО, совместно с гидратированными фуллеренами разной концентрации в системах. Кривая Т (температурная кривая) характеризует изменение температуры в исследуемом образце, ТС (термографическая кривая) – спад массы образца, ДТК (деривативная

термографическая кривая) – скорость ее уменьшения, ДТА (кривая дифференциального термического анализа) – тепловые эффекты в условиях линейно-растущей температуры. Образцы нагревались с неизменной скоростью 0,61 град/с. Интервал температур 20...110°C. Отклонение кривой ДТА в сторону низких температур и прохождение ее через минимум говорит о протекании эндотермического процесса. В исследуемых растворах в данном интервале процессы испарения воды сопровождаются угасанием теплоты.

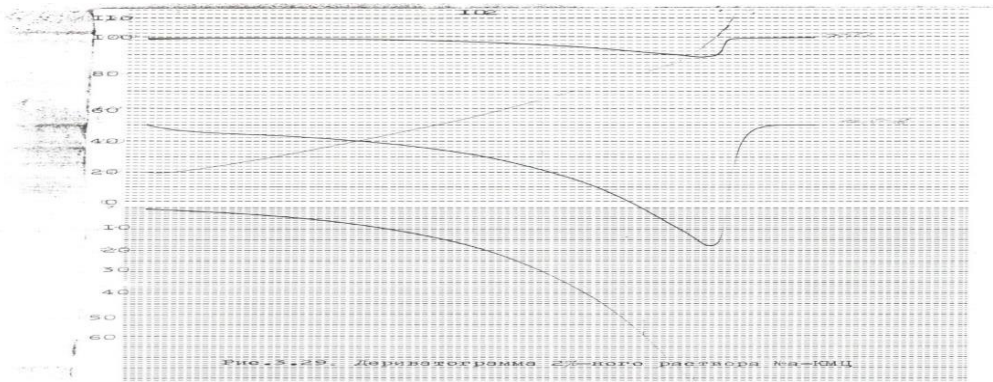


Рис.4 Напиток + РГФ (5%)

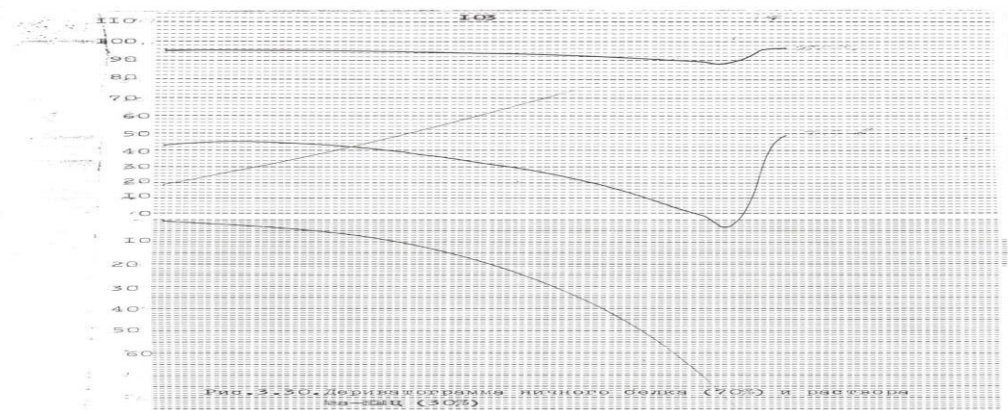


Рис. 5 Напиток + РГФ (10%)

Исходя из данных термографического исследования были построены зависимости (рис. 6):

$$\ln \Delta m = f \frac{1000}{T} \ln \Delta m = f \frac{1000}{T}$$

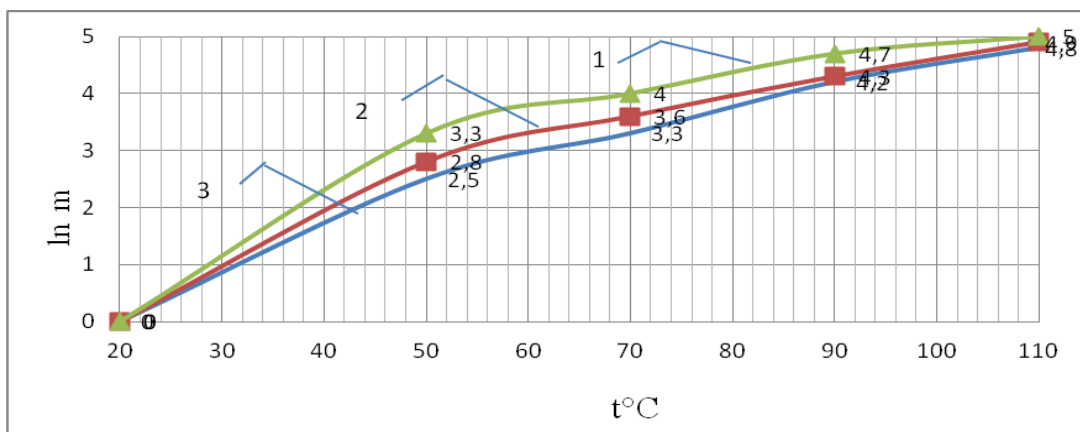


Рис. 6. Зависимость теплоты испарения от температуры для систем:
1 – Напиток 2 – и РГФ (5%); 3 – напиток и РГФ (10%)

Анализируя полученные результаты по поведению фуллеренов при добавлении в них воды или льда можно констатировать, что добавление к раствору отходов дрожжевого производства гидратированных фуллеренов также приводит к молекулярной структурированности воды, которая добавляется при производстве препарата. Теплота испарения воды в значимой степени констатирует повышение крепости связей воды и частиц вещества на молекулярном уровне.

Благодаря полученным данным можно констатировать, что в процессе хранения препарата не будет наблюдаться его расслоения. Препарат будет иметь одинаковую консистенцию а применение фуллерена в препарате обосновано..

Выводы

1. ВРГФ – С_nH_yF_n имеют возможность связывать воду, то есть происходит перестройка внутренней структуры жидкостей, за счет концентрации ионов [H] и [OH-]. В растворе гидратированных фуллеренов это составляет 1,4–5,0·10⁻⁶ моль/л, а в обычной воде концентрация при 20°C – 0,35·10⁻⁶ моль/л, то есть на три порядка больше.

2. Совместное присутствие напитка и раствора гидратированных фуллеренов приводит к стабилизации молекул воды в системе.

3. Присутствие гидратированных фуллеренов в растворах, в частности их совместное присутствие позволило разработать препарат, который при

хранении не подвергается расслаиванию за счет связывающих свойств фуллеренов.

4. Особенности поведения фуллеренов в растворах могут быть объяснены обнаруженным экспериментально явлением образования в растворе кластеров, состоящих из некоторого количества молекул фуллеренов.

SECTION 3. COMPUTER SCIENCE

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.3.1

3.1 Informational and mathematical modeling in epidemiological studies of acute respiratory diseases

Combining computer modeling statistics and methods with dynamic methods can make modeling and the resulting analysis more realistic and reliable, and more accessible to understand the rules for the spread of infectious diseases.

The science of the patterns of origin, spread and course of diseases detected in population studies is called epidemiology. Epidemics are massive, short-term outbreaks. The disease is endemic if it depends on the population. Thus, epidemic models are used to describe a rapid outbreak that occurs within one year, while endemic models are used to study disease for a long period after which recovery occurs (including with the acquisition of temporary immunity). The spread of infectious diseases includes not only disease-related factors such as infectious agent, mode of transmission, latency, infectious period, susceptibility and persistence, but also a number of social, cultural, demographic, economic and geographical factors [125].

A number of studies continue to be conducted by domestic scientists related to the "pressure" on the epidemiology of "pure" mathematicians, who managed to create many abstract models, but with very limited epidemiological content. These are more complex mathematical models in which random factors of the epidemic process play a significant role, so most of these models are stochastic (probabilistic) in nature, and the working apparatus is the theory of probability and random processes. Research initiated by academician continues to developed a new methodology for mathematical modeling of epidemics - epidemic dynamics. This methodology is based on the method of scientific analogy in the reflection of the epidemic process (the process of "transfer" of the pathogen from sick to healthy) with the process of "transfer" of matter (energy, momentum) in the equations of mathematical physics. Indeed, in the course of the epidemic, a complex process of "transfer" of the population of the self-sustaining

pathogen to the population of susceptible people is being formed among the population of the territory affected by the infectious disease.

The epidemiological content of this process is associated with its adequate reflection, as in calendar time « t », and in internal time « τ », which captures the development of an infectious disease in many people affected by the infection. The system of equations, which describes the development of the epidemic process, is a system of nonlinear equations in partial derivatives with corresponding initial and boundary conditions very "similar" to the equations of hydrodynamics [126].

Mathematical epidemiology has now become a separate area of population dynamics, parallel to mathematical ecology. Epidemiological models are used to combine data from different sources to analyze complex results. The most important value of epidemiological modeling is the basic number of reproductions (threshold value) R_0 , defined as the average number of people infected by one sick person. Value R_0 important for control and threshold values predict the outcome of the disease, whether the disease can invade a susceptible population if $R_0 > 1$. Using *SIR*- models for endemic diseases without age structure, estimates R_0 for different diseases show that some diseases spread faster than others, that is, they are less controlled.

Many models of epidemiology are currently used to study infectious diseases involving age structures, but mortality and contact depend on age. Thus, the base number of reproductions R_0 also depends on these epidemiological and demographic factors. When R_0 found by study, in models with positive (endemic) equilibrium with acceptable limits, and then tested.

Detailed temporal patterns of recurring epidemics can be described and analyzed using time series analysis tools. In terms of their ability to predict the patterns of recurrence in the future. Mechanistic mathematical models are extremely powerful for epidemiological research [128].

The mathematical model is the basis for explaining reasons, attitudes, and ideas. Mathematical models are very useful for obtaining conclusions that have a clear interpretation. Epidemiologists are helped by epidemiologists to master the conceptual

and intuitive understanding of pathological processes. Epidemiological modeling is an important part of the function of epidemiology to build and test theories. Mathematical and computer modeling of epidemics are the main tools in experimental epidemiology. The only data that are usually available from natural epidemics and from the natural incidence of endemic diseases, unfortunately, are not complete, as due to various factors are not recorded accurately. Because repetitive experiments and accurate data are generally not available in epidemiology, mathematical and computer models and simulations are used to perform the necessary theoretical experiments with different parameter values and data sets. With the help of a computer simulation, it is easy to find out what happens when one or more parameters have changed. Another advantage of epidemiological modeling is the availability of models for estimating quantitative hypotheses. For example, the model can be used to test the claim that two doses of measles vaccination program will lead to collective immunity while one dose of vaccine will not be useful. Epidemiological modeling refers to dynamic, deterministic modeling in which the population is divided into compartments according to their epidemiological status (eg susceptible, infected, and recovered), with the movement between compartments being defined as differential or differential equations.

Modeling can improve the quality of the epidemiological survey by providing a testing ground based on the analysis of the survey results. The design phase can help identify important issues in the emergence, spread and control of epidemics that need to be addressed to ensure that the results are adequate. The statistical aspects of the survey are currently being carried out before the surveys themselves are conducted. In addition, these aspects related to the estimation of parameters in the models are analyzed before conducting surveys to ensure that all relevant data are collected.

Another goal of epidemiological modeling is to predict future cases. As a rule, it is not necessary to idealize epidemiological models and the accuracy of forecasts obtained with their help. However, with their help you can see that the epidemic can take different scenarios. One of the goals of epidemiological modeling is to reduce uncertainty in future forecasts [129].

The development of compartment models is based on the epidemiological

assumption that susceptible compartments (S) pass to the compartment of persons in the latent (or latent) phase of the disease (E and L) (individuals are already infected, but do not yet infect others), and then move on to the compartment of infected (I) (already infecting others) and, finally, to the compartment (R) persons who have recovered and have permanent immunity.

In many cases, it is sufficient to use the SIR model, because, for example, in this case the behavior remains the same as for the SEIR model. Parameters such as birth rate, mortality and rate of infection are stable in the models. The epidemiological model should answer the question of whether an epidemic of the disease will spread in a short period of time. In this case, the dynamic change in birth and death rates can be neglected. Otherwise, if the disease lasts for a long period (many years), you should take into account the dynamic changes in these indicators.

As the model becomes more complex, the number of compartments increases to match the real ways of developing the epidemic. The studied population is divided into disparate classes - compartments, the size of which changes over time t . In the main epidemiological models, it is assumed that the population is stable N , which is large enough so that the dimensions of each class can be considered as continuous variables. If the model includes changes in births and deaths over time (also called "life dynamics"), it is assumed that births and natural deaths occur at equal rates, and that all newborns are susceptible. The main concept in epidemiology is the existence of threshold levels. Endemic is a term in epidemiology that means the constant existence of a certain infectious disease in any area. Infection is endemic when it is constantly maintained in this population without the need for external sources. For an infection to be endemic, on average, each infected person must transmit the infection to another person. Assuming a perfectly susceptible population, this means that the baseline number of reproductions (R_0) infection should be equal to 1. If in the population some individuals have immunity, the baseline number of reproductions R_0 multiplied by the share of susceptible individuals in the population (s) should be equal to 1. $R_0 \times s = 1$

For a disease that is in a stable endemic state, the number of infected people does not decrease or increase [130].

The main types of models are proposed to describe ARI outbreaks. The three main deterministic models for infectious diseases that are spread through direct human contact with an infected person in a population are *MSEIR*, *SIS*, *SIR* – models. These models were used to obtain the main results, and then supplemented with additional compartments for refinement. Although the models presented are simple, they provide a basis for considering more complex models.

Table 1.1.

Designation to the model MSEIR,

M	Passive-immune compartment
S	Compartment susceptible
E	Compartment laten
I	Compartment of the infected
R	Compartment of people who have recovered with acquired immunity
β	Contact speed
μ	Average mortality rate
B	Average birth rate
$1/\varepsilon$	Average latency period
$1/\gamma$	The average infectious period
R_0	Baseline reproduction number (threshold value)
N	Total population
f	The rate of loss of immunity of recovering persons
δ	Average time of passive immunity

M – compartment containing persons with temporary passive immunity, ie acquired from a once infected mother through antibodies transmitted through the

placenta. Eventually, the antibodies disappear from the body and the person becomes receptive S . When a susceptible person comes in contact with an infected person, an infection occurs and the person becomes a compartment E . After the latent period the person passes to a compartment of the infected I . If the infectious period ends, the person goes to the compartment R , consisting of those who became ill and acquired immunity. The choice of these compartments for inclusion in the model depends on the characteristics of the specific disease. Passive-immune class M and latency E they are often omitted because they are not important. Abbreviated names of the epidemiological model are based on the movement between compartments, for example $MSEIR, MSEIRS, SEIRS, SIR, SIS$. Example $MSEIRS$ - the model will be similar to $MSEIR$, but immunity in the compartment R will be temporary, ie individuals return to the compartment of the susceptible when their temporarily acquired immunity disappears [131].

Model *SIR epidemic*. Because the epidemic occurs in a short period of time, temporary loss of immunity and natural births and deaths are ignored. Therefore, there is no flow from the compartment of healthy back to the compartment of susceptible, also passes the passive-immune compartment M . By the way, the model *SEIR* epidemic has a similar behavior as the basic model of the *SIR* epidemic. For this model, the main initial task is:

$$\begin{aligned} dS / dt &= \beta IS / N, & S(0) &= S_0 \geq 0, \\ dI / dt &= \beta IS / N - \gamma I, & I(0) &= I_0 \geq 0, \\ dR / dt &= \gamma I & R(0) &= R_0 \geq 0. \end{aligned} \tag{1.1}$$

There $S(t), I(t), R(t)$ satisfy the condition $S(t) + I(t) + R(t) = N$.

Model *SIR* is a special case of the model *MSEIR*.

In general *SIR* – The model is suitable for viral diseases such as measles, mumps, smallpox, also describes some bacterial diseases such as ARI, meningitis, plague and sexually transmitted diseases, the simplest diseases such as malaria.

Statement of control problems in epidemiological mathematical models. Consider the Makinde model:

$$\begin{aligned}
 \frac{dS(t)}{dt} &= (1-P)\gamma N - \beta I(t)S(t)N - \mu S(t), \\
 \frac{dI(t)}{dt} &= \beta I(t)S(t)/N - (\eta + \mu)I(t), \\
 \frac{dR(t)}{dt} &= P\gamma N + \eta I(t) - \mu R(t)
 \end{aligned}
 \tag{1.2}$$

It is considered η, γ, β, μ all positive constant parameters with $0 \leq p < 1$

Consider the problem of optimal control to minimize the target functionality

$$J(u_1, u_2) = \int_0^{t_{end}} \left[S(t) + I(t) + \frac{(A_1 u_1^2(t) + A_2 u_2^2(t))}{2} \right] dt
 \tag{1.3}$$

for the system

$$\begin{aligned}
 \frac{dS(t)}{dt} &= (1-P)\gamma N - \beta I(t)S(t)/N - \mu S(t) - u_1(t), \\
 \frac{dI(t)}{dt} &= \beta I(t)S(t)/N - (\eta + \mu)I(t) - u_2(t), \\
 \frac{dR(t)}{dt} &= P\gamma N + \eta I(t) - \mu R(t) + u_1(t)
 \end{aligned}
 \tag{1.4}$$

with initial conditions $S(0) = S_0, I(0) = I_0, R(0) = R_0$.

In system (1.4) we have three state variables $S(t), I(t)$ and $R(t)$. Variable control $u(t) = (u_1(t), u_2(t)) \in U$. The problem of optimal control to limit control $0 \leq u_1(t) + u_2(t) < N$, where $u_1(t) \geq u_2(t) \geq 0$, for all $t \in [0, t_{end}]$.

The theoretical foundations of optimal control on which dynamic models are based are given by ordinary differential equations. This theory was developed by Pontryagin and his collaborators. The theory of applications and corresponding numerical algorithms has steadily progressed. By using the Pontryagin maximum principle, and extending its corresponding numerical methods, control is adjusted in the model to achieve the goal [132].

Analytical results for optimal management are applied in a simple epidemic *SIR* - models, including the calculation of optimal management taking into account epidemic control measures, vaccination and quarantine.

Today there are many software tools for use in epidemiology. The site [<http://www.ehdp.com/links/episw.htm>] lists software products used in epidemiological studies.

Cytel [<http://www.cytel.com>] develops statistical software for planning any type of clinical trial, including adaptive planning. This software is used by data monitoring commissions to recruit patients to monitor and implement adaptive clinical trials.

EpiData opposes open source software for entering and analyzing epidemiological data [<http://www.epidata.dk>]. EpiData Entry is used to easily enter or document data from another program and document it. Data entry is based on simple forms, optimization of documentation and has the ability to detect database errors. EpiData Analysis performs basic statistical analysis, graphing and data management.

EpiGram [<http://www.brixtonhealth.com/epigram.html>] is designed to build charts for inclusion in articles and reports. It was designed to track epidemiological contacts for inclusion in epidemiological reports of epidemic outbreaks. Although in fact the program is a universal tool for charting. The Centers for Disease Control and Prevention (USA) offers one of the most popular and versatile software tools in epidemiological research – Epi Info™, which is a simple tool for social workers with little experience in information technology - to quickly create data sets and their analysis, visualization and preparation of reports involving methods of epidemiology. Epi Info™ – it is actually a software package that provides basic epidemiological functionality without the hassle of large-scale commercial applications.

Epi Info™ is easy to use in places with limited network connections or limited resources for commercial software and professional IT support. Epi Info™ is flexible, scalable and freely available in data collection, thorough statistical analysis and compatibility with geographic information systems (GIS). Users of this system are registered in 181 countries (and Antarctica). The system has a version available for non-specialists (public domain version). Sentinel Research & Consulting Corp has developed a mobile application for iOS devices. iEpidemiology is an easy-to-use calculator for analyzing epidemiological research data (Figure.1.1). The program allows you to enter research data (epidemic / non-epidemic, epidemic curve).

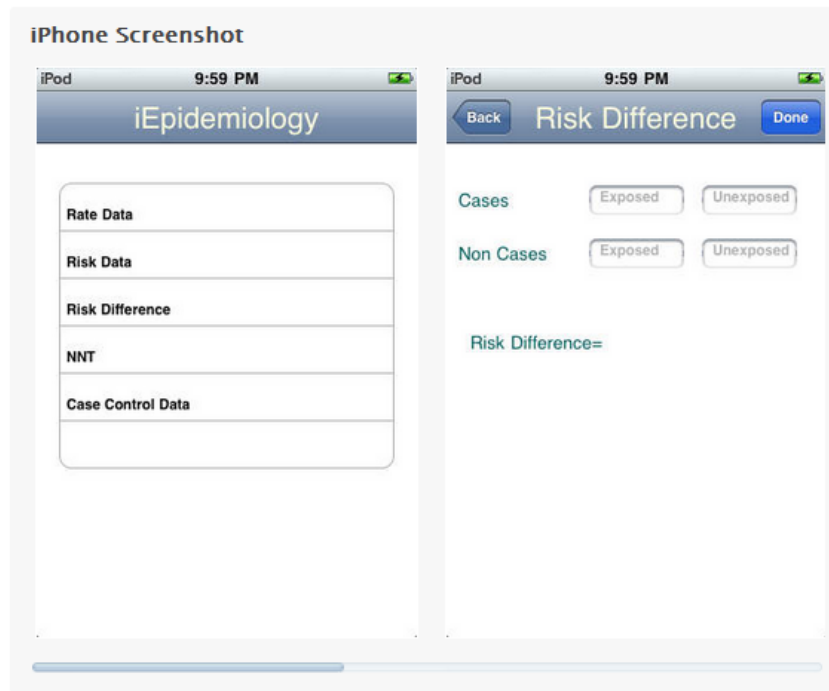


Figure.1.1.1. Mobile application interface for iOS devices from Sentinel Research & Consulting Corp.

The OpenEpi package [<http://www.openepi.com/>] is open source software for epidemiological research. It can run on a server, or it can be downloaded and run without a web connection. Programs are written in JavaScript and HTML, they are compatible with Linux, Mac in PC browsers. It also declares browser support for most iPhones and Android. The OpenEpi menu is shown in Figure. 1.2. The program provides statistics for descriptive and analytical studies, calculation of confidence intervals, sample sizes, sensitivity and specificity, R x C - tables, chi-square criteria for the problem "dose - effect".

The NetEpi package [<https://code.google.com/p/netepi/>] is a set of free, open source software that is also fully integrated with the Internet. To date, there are two main NetEpi applications.

NetEpi Collection is a tool for data collection and management for use in the study of outbreaks and other epidemiological studies. The program is written in Python and uses only open source software components and infrastructure, including the PostgreSQL database.

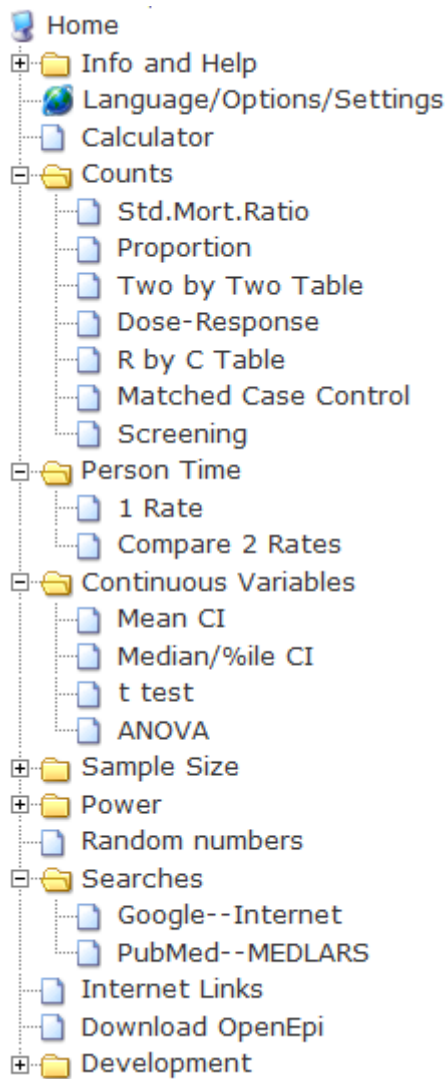


Figure.1.2. "Tree" menu of the OpenEpi program

NetEpi Analysis is a tool for interactive data analysis of large population datasets (10 to 100 million records). The product is written mainly in Python, it is possible to use Numeric Python (NumPy) and open source statistical environment R. NetEpi Analysis uses a simple but innovative approach to filtering, reducing and summarizing data, including object-oriented implementation of fast multiple operations on sorted inverted ordinal mappings. Both a web browser interface and a Python API are available. From the given review of software products in epidemiology it is visible that there is an orientation exclusively on statistical processing of epidemiological data with their visualization. At the same time, there are no specialized tools to support decision-making - through such tools as compartmental modeling, qualitative analysis of epidemiological systems, building knowledge structures.

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.3.2

3.2 Диффеоморфізм при застосуванні аналітичних формул розв'язання задач прогнозування довговічності кородуючих конструкцій

При вирішенні завдань напружено-деформованого стану (НДС), прогнозування довговічності та оптимального проектування багатоеlementних конструкцій, що працюють в умовах корозійного зносу, традиційно застосовується підхід, заснований на спільному використанні будь-якого чисельного методу розрахунку розв'язання задачі НДС та чисельного методу розв'язання задачі Коші для системи диференціальних рівнянь, що описують процес корозійного зносу конструкції. Зазвичай на вирішення завдання НДС використовується метод скінченних елементів (МСЕ). Питанню підвищення ефективності обчислювальних методів присвячено багато робіт, але воно до кінця не вирішено.

У роботі розглядаються динамічні системи: кородуючі конструкції (КК), проблеми якісного аналізу таких систем є доцільними. Рене Тома запропонував використовувати топологічну теорію динамічних систем, яка бере початок ще з робіт Пуанкаре, та привернув увагу на важливість вимог структурної стійкості таких систем [133, 141]. По суті проблема закладається у чутливості/нечутливості динамічних систем до невеликих збурень. Математичний апарат теорії катастроф дозволяє стверджувати, що досліджувану систему можна описати локально за допомогою однієї із семи стандартних форм, тобто елементарних катастроф [133, 141]. Розглянемо фізичну модель (тобто КК) та продемонструємо типові риси катастрофічної поведінки з точки зору математичного апарату цієї теорії.

Введемо деякі поняття, які будуть використані у роботі. Нехай U та V відкриті множини у R^n та нехай $f: U \rightarrow R^n$ причому $f(U)=V$. Тоді функція f називається *диффеоморфізмом*, якщо:

- f є гладкою;
- для неї існує обернена функція $g: V \rightarrow R^n, f \circ g = I_V, g \circ f = I_U$;
- g є гладкою.

З геометричної точки зору диффеоморфізм є плавним вигинанням однієї з систем координат, тобто гладкої заміни змінних. Для перевірки властивості на диффеоморфізм існує теорема про обернену функцію [141].

ТЕОРЕМА (про обернену функцію). Нехай $f: U \rightarrow R^m$ – гладке відображення та $x \in U$. Якщо лінійне відображення $Df|_x$ є не виродженим, то f є локальним диффеоморфізмом в x .

Таким чином, для перевірки відображення на локальний диффеоморфізм, необхідно обчислити відповідну похідну. Слід зауважити, що $Df|_x$ не вироджено тоді і тільки тоді коли якобіан: $Jf|_x \neq 0$. Дві функції f та $g: R^n \rightarrow R$ називаються *еквівалентними* поблизу початку координат, якщо існує локальний диффеоморфізм $y: R^n \rightarrow R^n$ та сталий «зсувний член» γ , такий що: $g(x) = f(y(x)) + \gamma$ у деякому околі нуля. Для сімейства $f, g: R \times R^r \rightarrow R$. Крім того диффеоморфізм може перетворюватися у сімейство диффеоморфізмів, а також у довільний диффеоморфізм [141]. Без обмеження суджень розглядається одна з феноменологічних моделей динамічної системи, що описує корозійний знос, в якій швидкість корозії лінійно залежить від рівня механічних напружень [135-138, 140]

$$\frac{d\delta_i}{dt} = v_0 \cdot (1 + k\sigma_i), \quad \delta_i|_{t=0} = 0; \quad i = \overline{1, N}. \quad (1)$$

Тут δ_i та σ_i – глибина корозії та напруження в i -му елементі; v_0 – швидкість корозії при відсутності напружень; k – коефіцієнт, який враховує напруження на швидкість корозії; t – час.

У роботі [136] для моделі корозійного зносу (1) були отримані залежності довговічності стрижневого елемента довільного перерізу, схильного до корозійного зносу, які в аналітичному вигляді можна записати наступним чином:

$$t = t_0 - 2 \cdot k \cdot Q \cdot \left[\arctg \frac{2 \cdot a \cdot \delta + b}{d_1} - \arctg \frac{b}{d_1} \right] \cdot \frac{1}{v_0 \cdot d_1}, \quad (2)$$

$$t = t_0 - 2 \cdot k \cdot Q \cdot \ln \left[\frac{(2 \cdot a \cdot \delta + b - d_2) \cdot (b + d_2)}{(2 \cdot a \cdot \delta + b + d_2) \cdot (b - d_2)} \right] \cdot \frac{1}{v_0 \cdot d_2}. \quad (3)$$

У статично визначеній конструкції не відбувається перерозподіл внутрішніх зусиль ($Q=const$) в елементах (вони визначаються з рівняння рівноваги), то точний розв'язок задачі прогнозування довговічності може бути отримано безпосередньо з аналітичних рівнянь, що визначають довговічність в розтягнутих або стиснутих стрижнях довільного поперечного перерізу. Ці аналітичні формули використовуються також для наближеної оцінки довговічності статично невизначених конструкцій.

У наведених вище формулах (2) і (3) прийнято такі позначення: Q – осьове навантаження; s – коефіцієнт форми перерізу; P_0 і A_0 – відповідно периметр та площа перерізу в початковий момент часу. Залежно від форми поперечного перерізу стрижня ($s=\pi$ для круглого перерізу та $s=4$ фасонних профілів), а також при необхідній точності, можливі різні варіанти розв'язків. Тут також прийняті наступні позначення: $t_0 = \frac{\delta}{v_0}$; $a=s$; $b = -P_0$; $c=A_0+kQ$. Тоді дискримінанти:

$d_1 = \sqrt{4ac - b^2}$, $d_2 = \sqrt{b^2 - 4ac}$. Розв'язок (2) реалізується при $4ac - b^2 > 0$, розв'язок (3) – при $4ac - b^2 < 0$.

У процесі розв'язання задачі прогнозування довговічності залежно від поточних значень геометричних розмірів перерізів елементів та напружень, що виникають у них, знак дискримінанта може змінюватися. Така можливість була передбачена і для її реалізації були отримані аналітичні залежності для даних випадків. Проте, якщо у якийсь поточний час відбувається зміна знаку дискримінанта, це означає, що у цій точці відбувається перехід від однієї аналітичної залежності до іншої. Виникає питання про те, якою буде похибка розв'язання задачі прогнозування довговічності, якщо не враховувати можливість такого «стрибка».

В отриманих формулах значення часу визначається через належне значення глибини корозії δ , що відповідає моменту вичерпання несучої здатності стрижня, яке наперед заздалегідь невідоме [136]. З метою вивчення загальних закономірностей поведінки функцій, що описують відомі аналітичні

залежності (2) і (3), пропонується постановка задачі, де в якості моделі розглядається стрижень, навантажений в осьовому напрямку силою Q і який знаходиться в агресивному середовищі, що викликає зміну його площі перерізу [136]. Для визначеності передбачається, що стрижень має кільцевий поперечний переріз, а корозійне зношування описується рівнянням (1).

Параметри стрижня та механічні характеристики його матеріалу вважаємо відомими: площа перерізу $A_0 = 20 \text{ см}^2$, коефіцієнт злитості $\eta = P_0/A_0 = 0,8 \text{ см}^{-1}$ (відношення значення периметра до значення площі перерізу у початковий момент часу); граничне значення напруження $[\sigma] \leq 1250 \text{ МПа}$. Розмір прикладеного навантаження $Q = 5000 \text{ кг}$. Параметри агресивного середовища: $v_0 = 0,1 \text{ см/рік}$; $k = 0,0003 \text{ МПа}^{-1}$ [134].

Умови експлуатації стрижня такі, що корозії піддається як зовнішня, так і внутрішня його поверхня. Довговічність проекту при кроці за часом $h_t = 0,001 \text{ років}$ становила $t = 15,34$. На рис. 1 представлена залежність поточних значень напружень від часу у постановці, яка використовувалась раніше та враховувала зміну знаку дискримінанта.

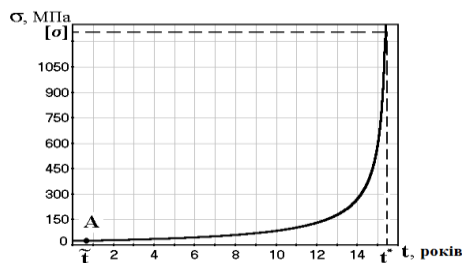


Рисунок 1. Поточна залежність напружень від часу.

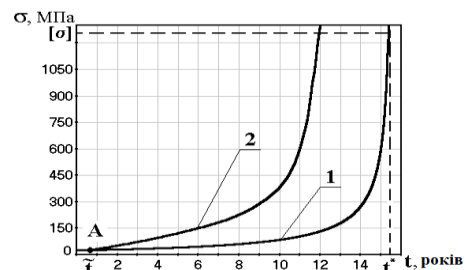


Рисунок 2. Поточна залежність напружень від часу у двох постановках.

Тут точка $A (0,665; 264,971)$ – це точка, де значення дискримінанта квадратного рівняння змінилося з негативного на позитивне. Отже, на інтервалі $(0; \tilde{t})$ значення довговічності визначається за формулою (2), але на інтервалі $(\tilde{t}; t^*)$ – за допомогою формули (3). Дослідимо особливості поведінки функції в околиці цієї точки. Очевидно, що на інтервалі $(0; \tilde{t})$ функція змінюється за визначеним законом, наприклад, (2). Якщо у точці A знак дискримінанту не змінюється, то і функція описується за тим же законом (крива 1 (рис. 2)):

$$t_{1i} = f_1(\sigma_i), i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Однак, якщо в точці A знак дискримінанта змінився на протилежний, відповідно до запропонованого раніше алгоритму, вибирається й інша розрахункова формула (3). Як наслідок, функція буде мати інший якісний вигляд, наприклад, описуваний кривою 2 (рис. 2):

$$t_{2i} = f_2(\sigma_i), i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Якщо відбувається зміна знаку дискримінанту функції, а, отже, розв'язок має якісну відмінність, яка зумовлена видом функції, то розв'язання задачі може бути знайдено: 1) або наближено до певної похибки, якщо графіки цих функцій будуть розташовані досить близько один до одного; 2) або взагалі знайдено неправильно – у протилежному випадку. Дослідження розв'язків задачі для встановлення їх можливих якісних та кількісних розбіжностей буде розглянуто далі. Пропонується скористатися методикою зі зміною параметра інтегрування при вирішенні системи звичайних диференціальних рівнянь (СДР), що описують процес накопичення геометричних ушкоджень конструкції [139].

Зазвичай інтегрування СДР проводиться за часом (параметр чисельного інтегрування) [136], то запропонуємо використовувати в якості параметру інтегрування – напруження. Розглянемо дві постановки задачі прогнозування довговічності – постановку 1, коли зміна знаку дискримінанта не враховується, та постановку 2, коли ця зміна враховується. У разі постановки 1 поточне значення напруження на кожному кроці залежить від початкового значення напруження: $\sigma_n = f(\sigma_0)$. Визначення поточних значень напруження, відповідно і часу, проводиться від однієї початкової точки, як за напруженнями, так і за часом. Результати чисельних розв'язків у постановці 1 подано на рис. 3. Далі розглядається постановка 2 (рис. 4), яка враховує зміну знаку дискримінанта в точці A . При цьому поточні значення напруження, а, отже, часу, на кожному кроці визначаються, при використанні інформації, яка отримана на попередньому кроці: $\sigma_n = f(\sigma_{n-1})$.

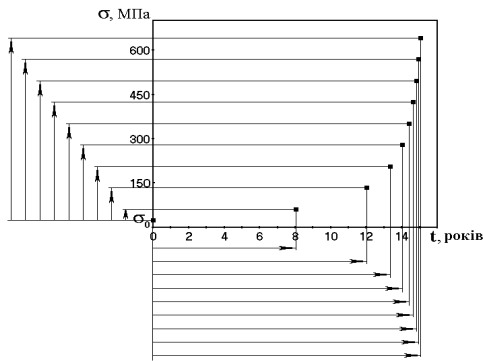


Рисунок 3. Ілюстрація

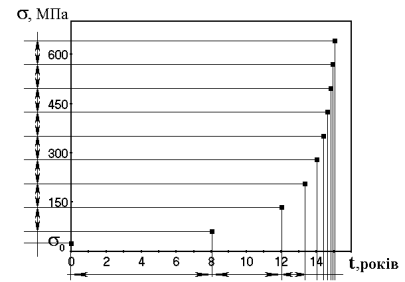


Рисунок 4. Ілюстрація

чисельного розв'язку у постановці 1. чисельного розв'язку у постановці 2.

В результаті чисельного розв'язання задачі у двох постановках отримано наступні результати. Значення часу до руйнування на кожному кроці інтегрування у постановці 1 та постановці 2 збіглися з точністю до п'ятого знаку після коми. Результати дають підстави припустити, що в області визначення аналізованих функцій (2) та (3), вони є еквівалентними. За допомогою математичного апарату теорії катастроф з'ясуємо можливість опису однієї й тієї ж фізичної величини різними функціями; дослідимо поведінку цих функцій та можливість переходу від однієї функції до іншої.

Введемо такі позначення: якщо $b^2 < ac$, то функція у загальному виді запишеться наступним чином: $f(\delta) = \arctg \frac{2 \cdot a \cdot \delta + b}{d_1} - \arctg \frac{b}{d_1}$. У протилежному

випадку – якщо $b^2 > ac$, то використовуємо наступну залежність:

$$g(\delta) = \ln \left[\frac{(2 \cdot a \cdot \delta + b - d_2) \cdot (b + d_2)}{(2 \cdot a \cdot \delta + b + d_2) \cdot (b - d_2)} \right].$$

Зважаючи на те, що результати розрахунків

дали практично абсолютний збіг значень цих функцій, то можна прийти до висновку, що на якомусь інтервалі функції $f(\delta)$ та $g(\delta)$ є якісно подібними.

Згідно теореми про обернену функцію маємо: якщо лінійне відображення $Df|_{\delta}$ є не виродженим, то f є локальним диффеоморфізмом у точці \tilde{t} . Аналогічні судження для $Dg|_{\delta}$ у точці \tilde{t} .

$$Df|_{\delta} = \frac{2 \cdot a \cdot d_1 \cdot (d_1^2 + b^2)}{(d_1^2 + (2 \cdot a \cdot \delta + b) \cdot b)^2}, \quad Dg|_{\delta} = \frac{4 \cdot a \cdot d_2 \cdot (b + d_2)}{(b - d_2)(2 \cdot a \cdot \delta + b + d_2)^2}.$$

При розгляді цього фізичного процесу зручно виділити деяку довільну систему координат, назовемо її початковою. У термінах теорії катастроф дві функції *локально-еквівалентні*, якщо існує локальний диффеоморфізм ($g(\delta)$) такий, що виконується: $g(\delta) = f(y(\delta)) + \gamma$, де γ – «зсувний член», що дозволяє повернутися в початок координат початкової системи [133, 141].

Відповідно до визначення диффеоморфізму [141] функція задовольняє трьом умовам: вона гладка, до неї існує зворотна функція, і ця зворотна функція гладка. Якщо використати це визначення та останню залежність, то можна отримати:

$$y(\delta) = tg\{\ln[\delta] - \gamma\}. \quad (6)$$

Перехід у формулі (6) від δ до y розглядається, як перехід до нових координат. Тут y – гладка обернена локальна заміна координат, а «зсувний член» γ потрібен, щоб повернути значення функції в нулі до вихідного. Зрозуміло, що його можна позбутися за допомогою відповідного зсуву початку системи координат. Таким чином, за допомогою локальної еквівалентності функцій можна виразити одну функцію через іншу з точністю до константи γ . У теорії катастроф одна з теорем дозволяє приводити функції до простого вигляду зручному для класифікації, за допомогою координатних заміни. Наведемо її мовою оригіналу [141].

ТЕОРЕМА 1. Нехай $f : R \rightarrow R$ – гладка функція, для якої $f(0) = Df|_0 = \dots = D^{k-1}f|_0 = 0$, але $D^k f|_0 \neq 0$. Тоді, за допомогою деякої гладкої локальної заміни координат, її можна привести до вигляду:

$$x^k \quad \text{при непарному } k; \quad \pm x^k \quad \text{при парному } k,$$

причому в останньому випадку знак співпадає зі знаком $D^k f|_0$. Тут $D^k f|_0$ – похідна i -го порядку у точці 0, де $i = \overline{0, k}$.

У нашому випадку функції $f(\delta)$ та $g(\delta)$ мають непростий аргумент δ , тобто насправді є складеними функціями (формули (2) і (3)). Для зручності використання функції $f(\delta)$ перетворимо її у вигляд:

$$f(\delta) = \operatorname{arctg} \frac{2 \cdot a \cdot \delta \cdot d_1}{d_1^2 + (2 \cdot a \cdot \delta + b) \cdot b} \quad [134].$$

Знайдемо таку гладку локальну заміну координат, за допомогою якої функції $f(\delta)$ та $g(\delta)$ можуть бути представлені з використанням степеневих функцій. Очевидно, що при $\delta = 0$ отримаємо:

$$Df|_{\delta=0} = \frac{2 \cdot a \cdot d_1}{d_1^2 + b^2} \neq 0, \quad Dg|_{\delta=0} = \frac{4 \cdot a \cdot d_2}{b^2 - d_2^2} \neq 0,$$

де $\delta = 0$ – некритична точка, очевидно, що $b^2 - d_2^2 \neq 0$.

Якщо використати визначення локально-еквівалентних функцій в околі деякої точки, отримаємо представлення однієї функції через іншу:

$$y(\delta) = \operatorname{tg} \left\{ \ln \left[\frac{(2 \cdot a \cdot \delta + b - d_2) \cdot (b + d_2)}{(2 \cdot a \cdot \delta + b + d_2) \cdot (b - d_2)} \right] - \gamma \right\}.$$

Відповідно до класифікаційної теореми Тома сімейство функцій $f(\delta)$ буде структурно стійке та локально-еквівалентне в околиці точки $\delta = 0$ (яка є некритичною та стійкою в тому сенсі, що малі збурення усуваються простою перепараметризацією області визначення) канонічної форми $f(\delta) \doteq \delta_1$ (через громіздкість тексту теореми її повне формулювання не наводиться). Тут знак \doteq означає "... дорівнює після гладкої заміни змінних ..." [141]. Аналогічно сімейства функцій $g(\delta)$: $g(\delta) \doteq \delta_2$. Неважко помітити, що ті ж результати були отримані за допомогою теореми 1. Аналогічні судження можна навести для розглянутих функцій, якщо записати формулу для локального диффеоморфізму ($f(\delta)$): $f(\delta) = g(z(\delta)) + \eta$, де η – «зсувний член», що дозволяє повернутися в початок координат початкової системи [141].

Перепишемо залежність та отримаємо: $z(\delta) = \exp^{\{\operatorname{arctg}[\delta] - \eta\}}$. Перехід у формулі від δ до z розглядається, як перехід до нових координат. Тут z – гладка

обернена локальна заміна координат, а «зсувний член» η потрібен, щоб повернути значення функції в нулі до вихідного. Знову ж таки, його можна позбутися за допомогою відповідного зсуву початку системи координат. Таким чином, за допомогою локальної еквівалентності функцій можна виразити одну функцію через іншу з точністю до константи η .

$$z(\delta) = \exp \left\{ \operatorname{arctg} \left(\frac{2 \cdot a \cdot \delta \cdot d_1}{d_1^2 + (2 \cdot a \cdot \delta + b) \cdot b} \right) - \eta \right\}.$$

У зв'язку з тим, що функції у (2)-(3) є гладкими, то однією зі стандартних математичних процедур є розкладення її у ряд Тейлора в околиці деякої точки. Позначимо у формулах (2) та (3) аргументи функцій (причому у формулі (3) перетворимо аргумент для розкладання відповідним чином):

$$\beta = \frac{2 \cdot a \cdot \delta \cdot d_1}{d_1^2 + (2 \cdot a \cdot \delta + b) \cdot b}, \quad \varphi = \frac{4 \cdot a \cdot \delta \cdot d_2}{(b - d_2) \cdot (2 \cdot a \cdot \delta + b + d_2)}.$$

Можна записати розкладення по «струям» [141] аналітичних функцій у формулах (2) та (3):

$$\beta - \frac{\beta^3}{3} + \frac{\beta^5}{5} - \frac{\beta^7}{7} + \frac{\beta^9}{9} + \dots + (-1)^n \cdot \frac{\beta^{2n+1}}{2n+1} + \dots + \gamma = \varphi - \frac{\varphi^2}{2} + \frac{\varphi^3}{3} + \dots + (-1)^{k+1} \cdot \frac{\varphi^k}{k} + \frac{(-1)^m \cdot \varphi^{m+1}}{(m+1) \cdot (\Theta\varphi+1)^{m+1}}.$$

Тут $0 < \Theta < 1$ та $\varphi > -1$. З останньої формули можна отримати «зсувний» коефіцієнт γ , аналогічно можна отримати η . Якщо прийняти (a, b, c) (у формулах при обчисленні дискримінанта) за координати точки в тривимірному просторі (R^3) та розглянути множину точок поверхні, що задовольняють умові $b^2 = ac$, це буде подвійний конус (так званий дискримінантний) з вершиною у початку координат та який містить вісі a і c . В залежності від знаку $b^2 (>/<) ac$ (відповідно зовнішня/внутрішня поверхня конуса), то розрахунок проводиться з допомогою належних формул. В даному випадку конус – це біфуркаційна множина, що має подвійність. Коли параметри системи, плавно змінюючись, «перескакують» поверхню $b^2 = a \cdot c$, то система стрибком переходить з одного стану стійкої рівноваги в інший. Через еквівалентність функцій виходить, що розрахунок можна проводити з однією з цих функцій. Результати чисельних експериментів

доводять, що значення таких різних функцій як арктангес і натуральний логарифм збігаються з точністю до п'ятого знаку, що свідчить про якісну зміну поведінки функцій. Отже, можна стверджувати, що біфуркаційна множина існує.

В цьому випадку перехід від однієї функції до іншої можливий через їхню еквівалентність. У реальних ситуаціях, коли граничне значення напружень $[\sigma]$ не перевищує поточного при вирішенні задач прогнозування довговічності стрижневих елементів, які кородують, тоді доцільно використовувати наступну формулу для розрахунку часу довговічності стрижня при відомому «зсувному члені» γ :

$$t^* = t_0 - \frac{2 \cdot k \cdot Q}{v_0 \cdot |d|} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left[\frac{2 \cdot a \cdot \delta \cdot |d|}{|d|^2 + (2 \cdot a \cdot \delta + b) \cdot b} \right] + \gamma \right\}. \quad (7)$$

Якщо знайдено «зсувний член» η , тоді можна отримати аналітичний розв'язок прогнозування довговічності кородуючих конструкцій за модифікованою (3) формулою (де $d \neq 0$):

$$t^* = t_0 - \frac{2 \cdot k \cdot Q}{v_0 \cdot |d|} \cdot \left\{ \ln \left[\frac{(2 \cdot a \cdot \delta + b - |d|) \cdot (b + |d|)}{(b - |d|) \cdot (2 \cdot a \cdot \delta + b + |d|)} \right] + \eta \right\}. \quad (8)$$

За допомогою теорії катастроф вдалося пояснити особливості поведінки дійсних гладких функцій у процесі розв'язання задач прогнозування довговічності стрижневих кородуючих конструкцій. Визначено біфуркаційну множину та встановлено, що функції прогнозованого значення довговічності локально-еквівалентні та подібні з точністю до диффеоморфізму. Використання формул (2) та (3), або (7), або (8) для отримання аналітичного розв'язку прогнозованого значення довговічності залежить від дослідника предметної області та обчислювальних витрат. Аналіз застосування аналітичних формул дозволяє підвищити ефективність чисельних методів при розв'язанні систем диференціальних рівнянь, які описують корозійний знос конструкції.

3.3 Комп'ютерно-інтегрована технологія аналізу когерентних властивостей води

Сучасний стан проблеми екологічного моніторингу параметрів гідросфери є ключовим завданням для багатьох галузей виробництва та у сільськогосподарській сфері. На сьогоднішній день розроблено та активно використовується на практиці широкий спектр методів фізичного та хімічного аналізу стану та властивостей води. Однак, отримання окремих кількісних показників хімічного складу і фізичних властивостей води не дозволяють говорити про ефективний моніторинг та управління якістю води, що використовується в промисловості та сільському господарстві.

Найважливішим завданням сільськогосподарської науки та біології, зокрема, є вивчення оптимальних умов підвищення врожайності культур, їх стійкості до несприятливих факторів. У вирішенні цього питання важливе значення має стан природних водних джерел.

Сучасне наукове дослідження властивостей води не можливо без вивчення її когерентного стану, який має вплив на біологію живого [142]. Вплив щільної земної матерії на воду визначає її фізико-хімічні властивості, доступні вивченню відомими фізичними методами (електропровідність, розчинність домішок, ОВП, рН тощо). Проте, вони не виявляють характеристик енергоелектричних взаємин наноструктур води, зумовлених слабкими польовими взаємодіями [143, 144]. Однак саме з останніми пов'язана активність води в живих системах [145].

Слабко упорядковані частини води з високою ентропією, використовуючи енергію навколишнього середовища, перетворюють воду на високоструктуровану з високою енергетикою і низькою ентропією. Передбачається, що цей механізм є основою квантового спонтанного синтезу дисипативних структур, які експериментально спостерігаються у воді [146].

Нещодавно розроблені моделі кластеризації рідкої води теоретично підтвердили, що утворення упорядкованих структур у воді залежить від формування дисипативних структур з квантовими полями зчеплення. В

результаті відповідних процесів молекулярний хаос перетворюється на когерентний стан з упорядкованою структурою через спонтанну самоорганізацію, обумовлену зниженням ентропії. Експериментально доведено, що вживання здоровою людиною когерентної мінеральної води покращує зв'язаність в упорядкований стан рідини в організмі та фізіологічно відновлює функцію серця. Утворення впорядкованих структур у воді залежить від формування дисипативних структур, у яких передбачені квантові поля зчеплення [147].

Опосередковане експериментальне вимірювання когерентних властивостей води можна реалізувати на базі аналізу її природного світіння, що активізується в електромагнітному полі високої напруги, цей фізичний ефект відомий як явище газорозрядного випромінювання [148, 149].

У рамках попередніх експериментальних досліджень якості води вивчалися зображення газорозрядного (кірліанівського) випромінювання води на рентгенівській плівці з метою оцінки її когерентних властивостей [150-155]. На базі застосування інструментарію сучасної цифрової обробки даних були визначені інтегральні параметри гістограми яскравості світіння за її піддіапазонами, у тому числі медіана яскравості світіння та різниці медіан між ними. Останні, на наш погляд, не відображають у достовірному ступені стану квантових полів зчеплення, які як раз і визначають біологічні властивості води.

Загальний аналіз квантових переходів вимагає вищого рівня деталізації математичної обробки, поряд з оцінкою швидкості зміни процесу фазового переходу, що паралельно дозволить оцінити параметри його прискорення, які відображають відносини показників. Метою подальших наукових досліджень було дослідження параметрів відношення різниць медіан зображень газорозрядного випромінювання когерентної води порівняно з контрольними зразками.

Рішення низки зазначених вище завдань реєстрації та аналізу експериментальних даних у вигляді зображень на етапі розвитку науки і техніки може бути реалізовано на базі сучасних комп'ютерно-інтегрованих технологій.

При вирішенні завдання встановлення, аналізу та інтерпретації геометричних і фотометричних показників зображень газорозрядного випромінювання у кількісній формі необхідна розробка прикладного програмного забезпечення, яке дозволить автоматизувати зазначені процеси обробки і аналізу зображень.

Таким чином, у контексті вирішення даного завдання аналізу експериментальних даних у вигляді зображень, комп'ютерно-інтегрована технологія повинна виконувати функції підвищення ефективності обробки результатів активного експерименту у рамках дослідження біологічних (у тому числі когерентних) властивостей води, призначеної для подальшого використання у сфері сільського господарства.

З метрологічної точки зору вимірювальні експерименти поділяються на пасивні та активні. Пасивний експеримент полягає у реєстрації вимірювальної інформації без впливу на об'єкт досліджень, тобто без зворотного зв'язку. Активний експеримент передбачає вплив на об'єкт досліджень у процесі вимірювального експерименту. У даному випадку у якості зовнішнього впливу на об'єкт досліджень (зразок води) використовується електромагнітне поле, яке формується спеціальним генератором. У якості сенсору виступає або рентгенівська плівка (в аналоговому варіанті реалізації приладу), або ПЗС-матриця (для впровадження цифрової реєстрації зображення газорозрядного випромінювання).

При використанні будь-якого з двох варіантів, отримане зображення вводиться в комп'ютер для подальшої обробки та аналізу. При аналоговій формі реєстрації первинного зображення випромінювання, коли сенсором виступає рентгенівська плівка, комп'ютерно-інтегрована технологія додатково включає блок оцифровки зображення.

У процесі досліджень на базі застосування запропонованої комп'ютерно-інтегрованої технології було виконано реєстрацію зображень газорозрядного випромінювання для вибірок по 50 крапель контрольних та експериментальних зразків води.

У цій серії експериментів як сенсор використовували рентгенівську плівку, прилад із приставкою для рідкофазних об'єктів, розроблений на експериментальному приладі «Кірліограф» [156, 157]. При формуванні контрольних зразків використовували дистильовану воду (ДВ) і природну питну воду (ПВ).

Одержання спінового когерентного стану води реалізовано на базі спеціальної системи, описаної в роботі [158]. На основі застосування даної системи створювався когерентний стан контрольних зразків з різною спіноюю спрямованістю - правою (+) і лівою (-) та різним ступенем когерентності (1, 2, 3).

У складі комп'ютерно-інтегрованої технології для аналізу стану рідиннофазних об'єктів використовується база зображень газорозрядного випромінювання для кількох типів води. Як типові води (ТВ) були використані наступні її різновиди:

- дистильована вода (тип 1),
- водопровідна вода (в/в, тип 2),
- природна вода поза монастирями (тип 3),
- функціональна (вода із територій монастирів - монастирська, тип 4).

При побудові комп'ютерної системи автоматизованої класифікації за типами води як основний спосіб для порівняння геометричних і фотометричних (яскравісних) характеристик зображень використовувалася побудова гістограм.

Зображення газорозрядного випромінювання крапель води, в кількості 50 для кожного експериментального зразка, оцифрували і за гістограмами яскравості корони світіння (ЯКС) розраховували значення евклідової відстані для медіан (ЕРМ) висот стовпців гістограми, а також евклідової відстані різниць медіан (ЕРРМ) величинами властивостей типових вод. Найменші значення евклідової відстані вказують на максимальну близькість досліджуваного зразка одному з типових класів води.

У рамках подальших досліджень додатково розраховували відносини різниць медіан яскравості газорозрядного світіння зразків контрольної дистильованої та когерентної води на ній. Усі піддіапазони (ПД) зсунуті на один більше порівняно

з нумерацією для медіан яскравості світіння, оскільки відображають відношення різниць величин наступного ПД щодо попереднього.

У табл. 1 та діаграмах (рис.1,2) представлені результати комп'ютерного аналізу параметрів гістограм яскравості газорозрядного зображення контрольного зразка дистильованої води та когерентної води трьох ступенів після її (+) та (-) поляризації. Рис. 1, 2 візуально відображають відношення різниць медіан яскравості газорозрядного світіння зображення для кожного з 12 піддіапазонів гістограми.

У загальному випадку, гістограма зображення є ступінчастою фігурою, яка дає наочне графічне уявлення розподілу кількості пікселів, відповідних певній яскравості. Гістограма може бути побудована як для кольорового зображення, так і для чорно-білого, півтонового.

Оскільки в даному експериментальному дослідженні у якості сенсору використовувалася рентгенівська плівка, то гістограма була отримана для півтонового зображення. У даний час стандартні пакети прикладних програм для побудови гістограм забезпечують її побудову для 256 різних відтінків яскравості (півтонів). Однак, в даній комп'ютерно-інтегрованій технології цифрового аналізу зображень газорозрядного випромінювання використовується модифікований варіант побудови та вилучення кількісних показників гістограми [159-160], в якому кількість стовпців скорочено до 12, що дозволило суттєво оптимізувати обсяг обчислювальних операцій, а також виконати усереднення показників яскравості за рахунок використання у розрахунках медіан.

Таблиця 1. Відносини різниць медіан яскравості газорозрядного випромінювання зразків контрольної дистильованої та когерентної води на ній

№ ПД/зразки	КДВ	КГД(+1)	КГД(+2)	КГД(+3)	КГД(-1)	КГД(-2)	КГД(-3)
3	61			69,14649		2,23162	
4	1,02186	22,10815	-0,69105	-0,57106	-0,33321	-0,93355	4,18508
5	2,18769	-0,40599	0,05966	0,22582	0,62138	0,11274	-0,78483

Продовження таблиці 1.

6	3,41772	-2,64218	-7,47319	-2,46285	-2,98305	-2,83488	-0,02508
7	7,84609	-0,80314	2,02387	5,78262	0,71291	4,26619	53,88423
8	1,27441	0,38783	2,20964	0,12556	-0,04274	1,35639	-0,24004
9	-1,93872	0,24973	-1,62560	-10,41745	39,35681	-1,11257	-2,13030
10	0,00202	5,18649	0,15061	0,12360	1,02327	0,92984	-1,91901

Примітка: КДВ – контрольна дистильована вода, КГД – когерентна дистильована вода.

Аналіз отриманих результатів представлено у табл. 2. Виявляли відмінності експериментальних зразків щодо наявності збільшення або зменшення швидкості зміни різниці медіан, їх піку.

У контрольному зразку дистильованої води (ДВ) спостерігається різке збільшення відношення різниць медіан (ОРМ) з піком у 5-му піддіапазоні (ПД), у подальшому з рівномірним незначним їх збільшенням до 8-го та великим збільшенням у 9-му піддіапазоні.

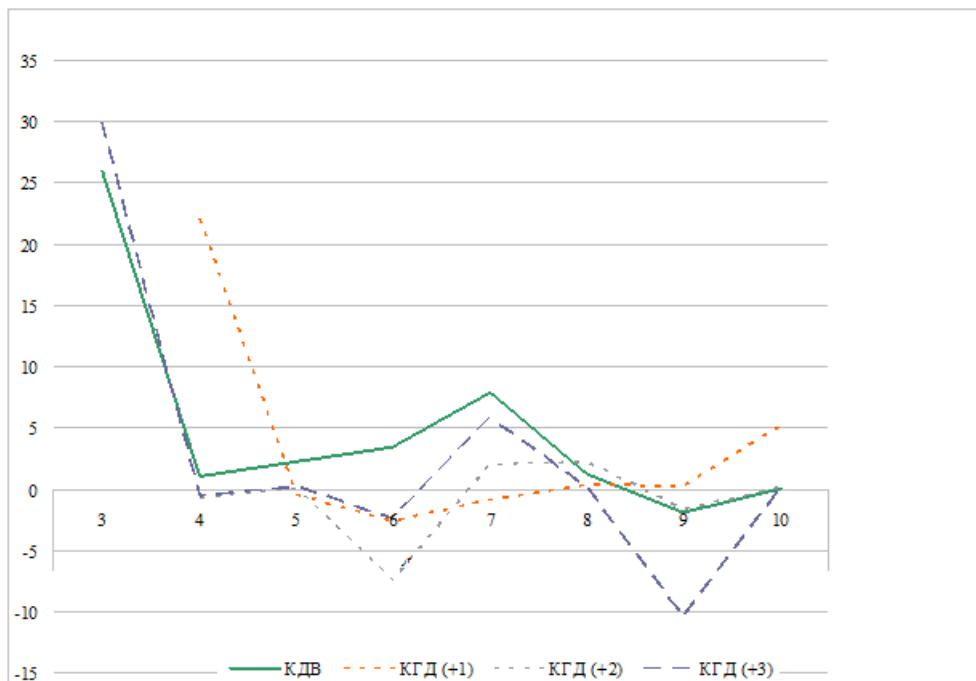


Рис. 1. Відношення різниць медіан яскравості газорозрядного світіння зразків контрольної дистильованої та (+) когерентної води на ній (КГД) різних ступенів

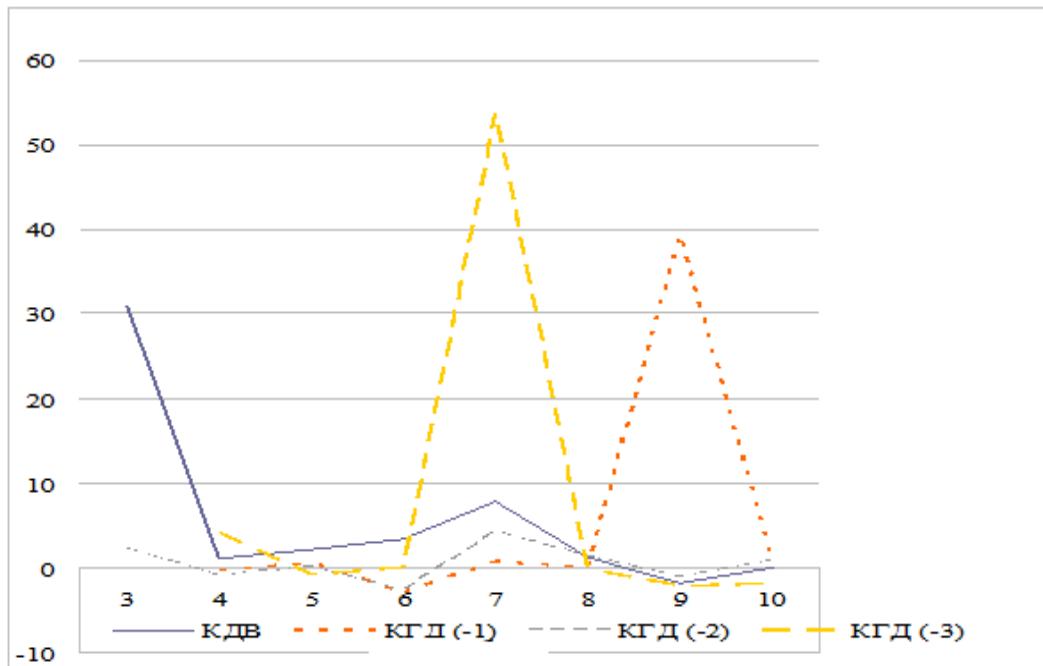


Рис. 2. Відношення різниць медіан яскравості газорозрядного світіння зразків контрольної дистильованої та (-) когерентної води на ній (КГД) різних ступенів

Таблиця 2. Показники швидкості зміни різниці медіан (їх відношення) за піддіапазонами на гістограмі у різних зразків КГД води та контролю

Зразки/ показники	КДВ	КГД (+1)	КГД (+2)	КГД (+3)	КГД (-1)	КГД (-2)	КГД (-3)
Пік (ПД) зростання	5	6	ні	5	11	9	9, > КГД (-2) у 13 раз
Середнє зростання	9	12	ні	9	ні	5, у 2 рази менше піку	6
Помірне зростання	6 - 8	ні	9, 10; у 3,7 раз < піку зменшення	ні	ні	ні	ні
Пік зменшення	нет	8	8, > КГД (+1) в 2,8 раз	11	ні	ні	ні
Помірне зменшення	+/- 11	ні	ні	8	8	7	11

Як стає очевидним, з аналізу експериментальних даних, то показники ОРМ зразків води при її когеренізації по-різному відрізняються від контрольних зразків, залежно від ступеня когерентності. У зразках когерентної (КГ) води показники різняться порівняно з контролем. Як і з аналізу медіан та різниць медіан, проведеного раніше, показники при 3-му ступені когерентності ближче до контролю за яскравістю світіння унаслідок більшої упорядкованості (за рахунок формування когерентних кластерів) та зменшення частки вільної води, на відміну від контролю, коли вона апріорі взагалі не має потенціалу реакцій.

Проте, експериментально виявлено відмінності у зміні величин відношення різниці медіан у цих зразків за піддіапазонами. Зокрема, при схожості показників у 5-му та 9-му піддіапазонах, при когеренізації води (+3), на відміну від контролю, спостерігається помірне зменшення швидкості зміни величин у 8-му піддіапазоні, з піком найменшого значення – в 11 піддіапазоні. Зразки води з (+2) і (+3) ступенем когерентності мають пік зменшення показника в 8-му піддіапазоні, проте при (+2) ступеня величина швидкості зміни різниць медіан була в 2,8 рази вище. В інших піддіапазонах були відмінності величин між ступенями (+) когерентності дистильованої води у порівнянні з контролем.

Кількісні параметри експериментальних зразків при (-) когерентності в цілому відрізняються від зразків (+) когерентності за наявності зсуву піку збільшення швидкості зміни різниці медіан за гістограмою яскравості, тобто в найменш інтенсивній частині світіння газорозрядного зображення (11, 9 піддіапазони, відповідно до ступенів когерентності), несуттєвим збільшенням у 5-6 піддіапазонах. У контрольних зразках та (+) зразках когерентної води пік збільшення спостерігається у 5, 6 піддіапазонах.

У табл. 3-6 та діаграмах (рис. 3-5) представлені відносини різниць медіан яскравості газорозрядного світіння зображення за 12 піддіапазонами гістограми зображення контрольних зразків природної питної води та когерентної води трьох ступенів після її (+) та (-) поляризації.

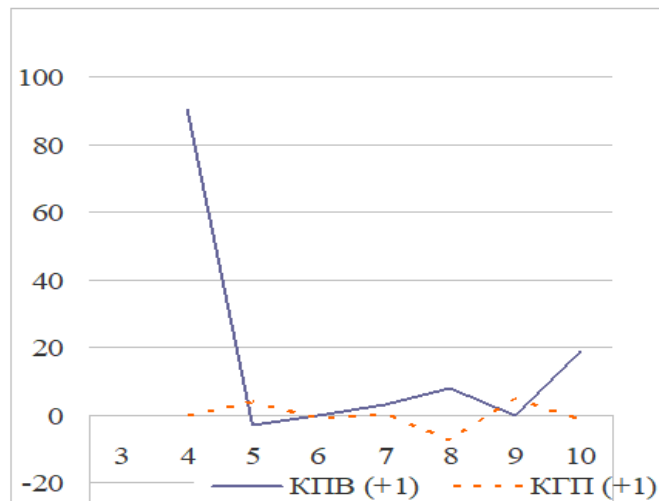


Рис. 3. Відношення різниць медіан яскравості зображення КГП (+1)

Таблиця 3. Відношення різниць медіан яскравості світіння зразків контрольної питної води та (+) когерентної води на ній різних ступенів

Під-діпазони	КПВ(+1)	КГП(+1)	КПВ(+2)	КГП(+2)	КПВ(+3)	КГП(+3)
4					11,07353	81,62269
5	90,25761	0	0	0	-0,75658	-0,69656
6	-3,06544	3,75656	-0,58814	5,30984	0,07763	0,15273
7	-0,12390	-0,82235	-0,11259	-0,84208	-0,90160	-0,19816
8	3,12655	0,04938	2,71061	-0,04751	9,50851	14,53297
9	7,69460	-7,63742	2,73473	4,50975	3,80732	6,71973
10	-0,06895	4,70334	-1,14108	7,57905	-1,27379	-0,84643
11	18,87177	-1,48841	1,05029	-1,41433	0,12553	0,48942

Примітка: КПВ – контрольна питна вода, КГП – когерентна питна вода

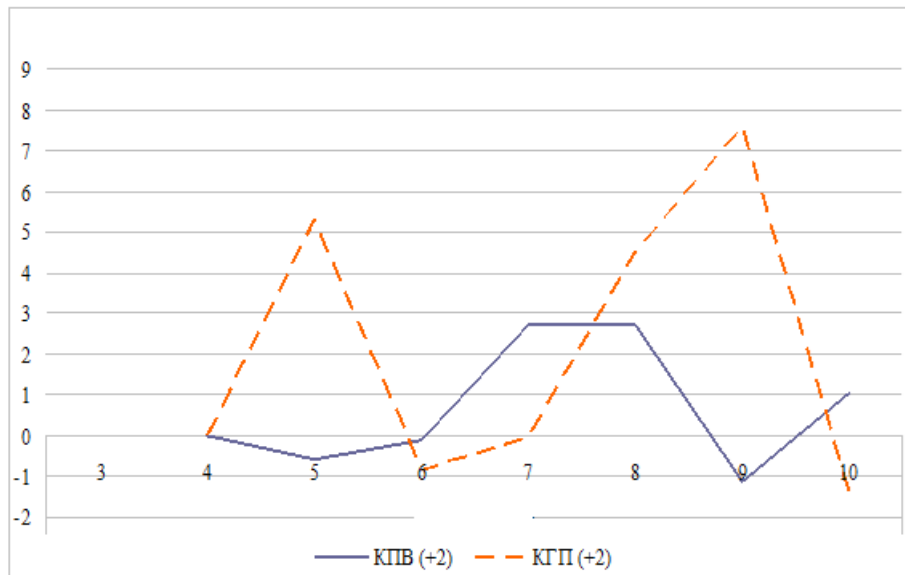


Рис. 4. Відношення різниць медіан яскравості зображення КГП (+2)

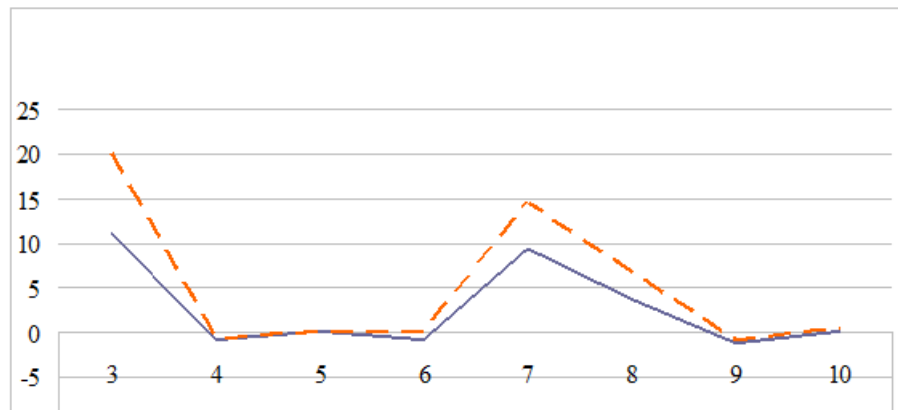


Рис. 5. Відношення різниць медіан яскравості випромінювання зразків контрольної питної води та (+) когерентної води на ній різних ступенів

Аналіз отриманих результатів представлено у табл. 4.

Таблиця 4. Показники швидкості зміни різниці медіан за піддіапазонами на гістограмі у різних зразків (+) КГ питної води та відповідного контролю

Зразки/ показники	КПВ (+1)	КГП (+1)	КПВ (+2)	КГП (+2)	КПВ (+3)	КГП (+3)
Пік (ПД) збільшення	6	11, > 7 у 1,27	ні	11	5, 8; 8 < 5 у 1,15	5

Продовження таблиці 4.

Середнє збільшення	12, < 6 у 5 рази	7, < 11 у 1,27 рази	ні	7, 10; < 11 у 1,5 рази	10, < піків у 3 рази	9, < 5 у 5,7 рази, 10, < 5 у 13 рази
Помірне збільшення	9, 10; 10 > 9 у 2 рази	ні	9 = 10	ні	ні	ні
Пік зменшення	ні	10; у 1,6 і більше рази > 7, 11	ні	ні	ні	ні
Помірне зменшення	7, як 9	ні	ні	ні	ні	ні

Таким чином, в ході експериментальних досліджень було виявлено відмінності зразків різних типів води і з різними ступенями когерентності за особливостями швидкості зміни різниці медіан, формування піку, порівняно з контрольними зразками. При 1-му та 2-му ступенях (+) когерентності пік збільшення показника відношення різниці медіан (ОРМ) зміщується або з'являється в області гістограми з низькою інтенсивністю світіння (п. 11), що характерно для високо упорядкованої води з переважанням її зв'язаної частини. При цих ступенях когерентності спостерігається також поява параметра з несуттєвим збільшенням у піддіапазоні з більшою інтенсивністю (п. 7), що відображає формування частини води іншого ступеня або виду когерентності. Відповідно до зміни параметрів збільшення показників, спостерігається зникнення піків зменшення параметрів ОРМ у відповідних піддіапазонах (пп. 7, 10).

Звертає увагу схожість кривих параметрів ОРМ при 1-му та 2-му (+) ступенях когерентності, незважаючи на те, що початкові контрольні зразки явно були відмінні між собою. Зразок води з (+3) ступенем когерентності відрізнявся від них посиленням вже наявних піків параметрів у контрольному зразку питної води в інтенсивній та менш інтенсивній частинах гістограми.

У табл. 5 представлені відношення різниць медіан яскравості газорозрядного світіння для контрольних зразків природної питної води та когерентної води трьох ступенів після її (-) поляризації.

Таблиця 5. Відношення різниць медіан яскравості світіння зразків контрольної питної води та (-) когерентної води на ній різних ступенів

Під-діапазони	КПВ(-1)	КГП(-1)	КПВ(-2)	КГП(-2)	КПВ(-3)	КГП(-3)
4	16,50564	14203,5	8,82570	0	9,09456	1,99125
5	-0,74419	-0,59615	-0,72556	-0,56821	-0,83174	-0,94543
6	0,07245	0,15913	0,16523	0,29704	0,08737	0,11211
7	-1,98732	-3,60037	-0,18968	-0,49921	-0,67884	-5,10124
8	5,52751	1,60507	9,625	6,36502	4,36397	1,84598
9	4,74522	-0,21587	5,05354	1,56011	5,62510	0,86420
10	-1,13495	-0,66537	2,24986	0,24057	-0,45757	-3,13192
11	0,18263	-14,72105	-1,64917	-9,53930	2,03386	0,05574

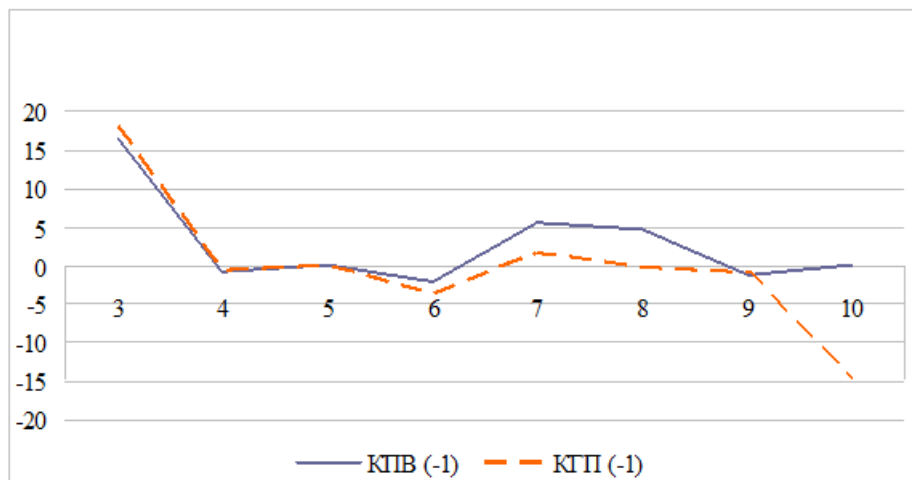


Рис. 6. Відношення різниць медіан яскравості зразків контрольної питної води та (-) когерентної води КПВ (-1), КГП (-)

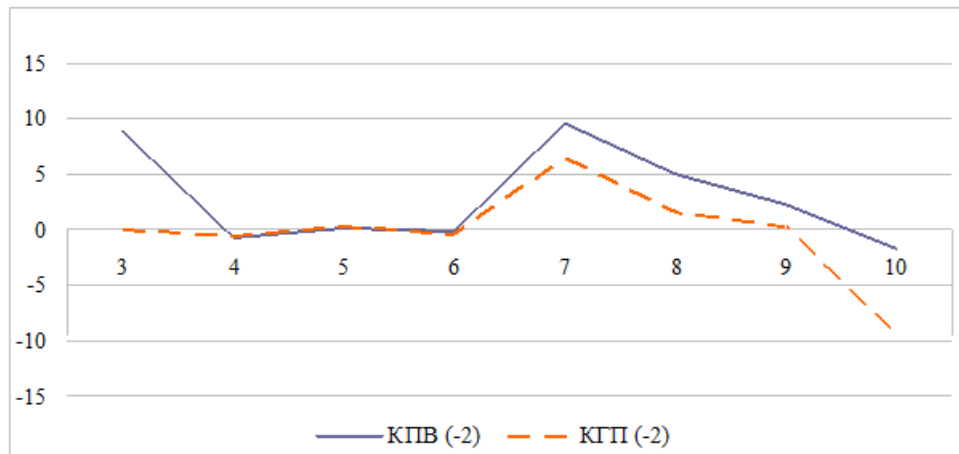


Рис. 7. Відношення різниць медіан яскравості Ки- свічення зразків контрольної питної води та (-) когерентної води ступенів КПВ (-2), КГП (-2)

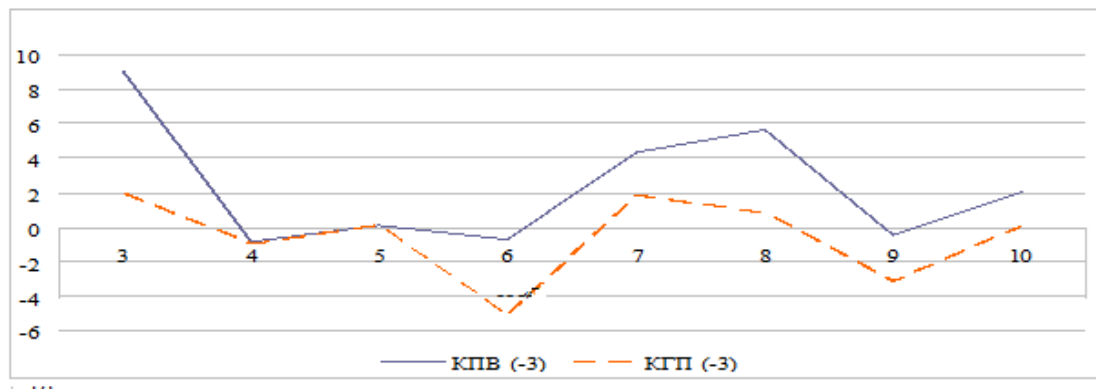


Рис. 8. Відношення різниць медіан яскравості світіння зразків контрольної питної води та (-) когерентної води на ній різних ступенів

Аналіз отриманих результатів представлено у табл. 6.

Таблиця 6. Показники швидкості зміни різниці медіан за піддіапазонами на гістограмі у різних зразків (-) КГ питної води та відповідного контролю

Зразки/ показники	КПВ (-1)	КГП (-1)	КПВ (-2)	КГП (-2)	КПВ (-3)	КГП (-3)
Пік (ПД) збільшення	5	5	5=9	9	5	ні
Середнє збільшення	9 = 10, <5 в 3 рази	ні	10, <5, 9 у 2 рази	ні	9 = 10, <5 в 2 рази	ні
Помірне збільшення	ні	ні	11, <5, 9 у 4 рази	ні	ні	ні

Продовження таблиці 6.

Пік зменшення	ні	12	ні	12	ні	8
Помірне зменшення	ні	3, <12 у 3,5 рази	ні	ні	ні	11, <8 в 1,7 рази

Таким чином, в ході досліджень було виявлено відмінності експериментальних зразків щодо наявності зростання або убавання швидкості зміни різниці медіан та особливостей формування піку. При (-) когеренізації природної питної води найбільш виражені зміни величин відношення різниць медіан, порівняно з контролем, спостерігаються у піддіапазонах 9, 10, 12 гістограми яскравості світіння – їх зменшення, з піком у 12 піддіапазоні. Слід підкреслити, що у когерентної води більш плавна, однорідна зміна структури газорозрядного зображення за інтенсивністю світіння з наявністю максимальної яскравості в останньому піддіапазоні гістограми, відображаючи наявність люмінесценції з інтенсивністю світіння меншої засвітки плівки.

При першому ступені (-) когерентності ще залишався пік інтенсивного газорозрядного світіння, відповідно до вільної незв'язаної частини води, за величиною близький до контролю, з стрибкоподібним переходом у менш інтенсивну частину газорозрядного світіння. При 2-му і 3-му (-) ступенях когерентності різкий розподіл різних за структурою частин води зникає. Відмінності від контролю при 3-му ступені (-) когерентності в 9, 10 піддіапазонах були подібні до 2-го ступеня - зменшення величин. Тобто, відмінність від 1-го ступеня проявлялася також у відсутності значної частини вільної води, відмінність 3-го ступеня (-) когерентності від 2-го полягала у максимальному зменшенні величини відношень різниць медіан яскравості газорозрядного світіння у 8 піддіапазоні, а не в 12-му, що спостерігається в 11-му піддіапазоні, але з меншою їх вираженістю. Останнє відображає додаткове формування структурних взаємозв'язків у питній воді.

В результаті порівняння для (+) і (-) способів формування когерентності питної природної води встановлено, що пік збільшення величин спостерігається

при (+1) і (+2) ступенях в 11 піддіапазоні, при таких же ступенях (-) когерентності відповідно у 5-му та 9-му піддіапазонах. При (+3) – у 5 піддіапазоні, при значенні (-3) виявлено, що збільшення показника взагалі не спостерігалось, навпаки його величина зменшувалася. За умови негативної поляризації 1-го та 2-го ступенів когерентності, на відміну від варіанту (+) когерентності, спостерігається зменшення показників, тобто більш плавний фазовий перехід у воді з більш рівномірними змінами в кривій огинаючої гістограми яскравості газорозрядного світіння.

В цілому, при аналізі максимального збільшення показника ОРМ при обох типах поляризації спостерігали більш виражені відмінності від контрольних зразків зі збільшенням ступеня когерентності. Відмінності за середнім та помірним збільшенням показника досить явні вже при першому ступені когерентності води. Також слід звернути увагу на появу піку зменшення показника ОРМ при всіх ступенях (-) поляризації контрольних зразків.

При порівнянні (+) і (-) когерентної води, отриманої шляхом перетворень на дистильованій воді, як зазначалося вище (табл. 1, 2), порівняно з контролем, виявлено появу при обох типах поляризації зменшення величин відношень різниць медіан яскравості газорозрядного світіння. Пік збільшення величин наявний у крайніх правих діапазонах при (-) когерентності, тоді як у питної води він був таким при (+) когерентності 1-го і 2-го ступенів. Тобто, питна природна вода, спочатку володіючи певною когерентністю, на відміну від дистильованої, при додатковій когеренізації набувала нових структур, гармонійно взаємодіючих між собою без різких фазових переходів, що відображається в більш плавних змінах величин піддіапазонів яскравості на гістограмі зображення газорозрядного випромінювання.

Характерно, що у зразків КГД всіх ступенів (-) поляризації не спостерігалось піку зменшення величини відношення різниці медіан яскравості, на відміну від природної питної води, мало місце помірне зниження їх у 8-11 піддіапазонах, залежно від ступеня когерентності.

При (+) когерентності зразків, отриманих на базі дистильованої води, спостерігався пік зменшення величин при всіх ступенях, у питної води він був лише за 1-го ступеня когерентності. У зразків (+2) та (+3) ступенях він зникав. Очевидно, при позитивній когерентності вода потребує більшого впливу, порівняно з негативною поляризацією, щоб у підсумку набути відповідних упорядкованих міжфазових взаємодій.

При (+) когеренізації зразків на базі дистильованої води пік збільшення величин був у середніх піддіапазонах, при (+) когерентності природної питної води – у крайніх піддіапазонах гістограми при 1-му та 2-му ступені, що відображає поступове збільшення величин кривої гістограми у останньої, на відміну від дистильованої. У зразка (+3) КГПВ, як і у дистильованої, спостерігалися пік збільшення у 5-му піддіапазоні та помірні збільшення величин – у 9-му піддіапазоні. У дистильованої аналогічне збільшення було і в діапазонах між ними, на відміну від питної води, що відображало формування в ній структур, які спочатку відсутні, на відміну від природної води.

Проведені дослідження дозволили встановити оціночні критерії присутності явищі когерентності води, її поляризацію та ступінь останньої, що визначає біологічні властивості. Отримані результати можуть бути використані як додаткові для експрес-оцінки когерентних властивостей води при вивченні її енергоінформаційних характеристик. Вибір у якості контрольного зразку дистильованої або природної питної води залежить від поставленого завдання.

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.3.4

3.4 Методичний підхід з інтелектуальної оцінки та прогнозування радіоелектронної обстановки

Вступ

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) активно використовуються в усіх сферах життєдіяльності людей. Створення інтелектуальних СППР стало природним продовженням широкого застосування СППР класичного типу. Інтелектуальні СППР знайшли широке використання для вирішення специфічних завдань військового призначення, а саме [161, 162]: планування розгортання, експлуатації систем зв'язку та передачі даних; автоматизація управління військами та зброєю; збір, обробка та узагальнення розвідувальних відомостей про стан об'єктів розвідки та ін.

Одним з таких завдань, де використовуються інтелектуальні СППР є аналіз та прогнозування радіоелектронної обстановки, що також зводиться до багатокритерійного аналізу альтернатив, враховуючи велику чисельність та різнотипність угруповань військ (сил). З практичної точки зору від ефективності аналізу та прогнозування радіоелектронної обстановки залежить ефективність використання радіочастотного ресурсу та ефективність функціонування систем зв'язку (радіоелектронного подавлення). Разом з тим, при аналізі завдань радіоелектронної обстановки (РЕО) виникає ряд проблемних питань, а саме:

1. Сигнали аналізуються в складній радіоелектронній обстановці на фоні різних за походженням завад.
2. Вхідні сигнали не збігаються з еталонами за рахунок впливу різних типів завад.
3. Інтерпретація сигналів залежить від досвіду оператора (експерта), повноти додаткової інформації по конкретному завданні (умови невизначеності).

Проведений аналіз робіт [1–16] свідчить про те, що найбільш ефективними засобами обробки радіоелектронної обстановки є згорточні нейронні мережі (ЗНМ). Згорточна нейронна мережа будується на основі операції згортки, що дозволяє навчати ЗНМ на окремих частинах даних, ітераційно збільшуючи

локальну область навчання окремого ядра згортки.

Встановлено, що на даний момент не існує методології побудови гібридних згорточних нейронних мереж, які забезпечують покращення точності розв'язання задачі при зниженні об'єму обчислювальних та часових витрат. Тому, виникає потреба у визначенні властивостей унікальних блоків та їх використання для створення нових топологій, а саме, гібридних згорточних нейронних мереж.

Матеріали та методи дослідження

При розробці методичного підходу з інтелектуальної оцінки та прогнозування радіоелектронної обстановки використовувалися методи:

гібридних згорточних нейронних мереж – для отримання узагальненої оцінки стану радіоелектронної обстановки для вирішення задачі аналізу та прогнозування стану РЕО;

штучних нейронних мереж, що еволюціонують – для навчання та корегування баз знань радіоелектронної обстановки. Для навчання штучних нейронних мереж, що еволюціонують використаний розроблений в попередніх роботах метод навчання штучних нейронних мереж, який дозволяє проводити глибоке навчання штучних нейронних мереж, який полягає в навчанні архітектури, виду та параметрів функції належності.

Моделювання методики оцінки та прогнозування РЕО в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень проводилося при наступних параметрах:

– засоби радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти (ППРЧ). Діапазон частот – 30–512 МГц; потужність передавача – 10 Вт; ширина смуги частот, що випромінюється – 12,5 кГц, чутливість приймача –120 дБ; кількість засобів радіозв'язку (ЗРЗ) в мережі – 5. Кількість частотних каналів для переналаштування засобів радіозв'язку (ЗРЗ) – 10000; кількість перестроювання – від 333,5 до 1000 стрибків/сек;

– комплекси радіоелектронного подавлення (РЕП)–2. Діапазон частот комплексів РЕП – 30–2000 МГц; потужність передавача – 2000 Вт; максимальна

смуга частот, що може бути подавлена одночасно – 80 МГц. Тип завади комплексів РЕП – шумова загороджувальна завада з частотною маніпуляцією, як одна з найбільш поширених та вплив якої добре відомий; стратегія комплексу РЕП-динамічна.

Моделювання проводилося з використанням програмного забезпечення MathCad 2014 та ПЕОМ Intel Core i3. До ПЕОМ було підключено 5 програмованих прийомопередавачів LimeSDR (США) з програмним забезпеченням GNU Radio (Німеччина) та підключено до генератора шуму RIGOL DG5252 (Німеччина), що імітував роботу комплексу РЕП.

Для проведення експерименту використовувалася навчальна вибірка, що містить дані про стан радіоелектронної обстановки угруповання. Для експериментів використовувалося 5000 спостережень із цієї вибірки. Навчальна вибірка містила 3000 спостережень, тестова – 2000 спостережень.

Під час розв'язання прикладних задач з метою підвищення точності та зниження складності виникають кілька завдань. Перше завдання – пошук оптимальної топології мережі. Друге – структурна (визначення кількості прихованих шарів та нейронів в них, міжнейронних зв'язків окремих НМ) і параметрична (налаштування вагових коефіцієнтів) оптимізація. Це дозволяє розв'язувати складні задачі, в першу чергу, збір, обробка та узагальнення відомостей про радіоелектронну обстановку, аналіз якої неможливо розв'язати на основі окремих методів або технологій.

Результатом впровадження даної роботи є інтелектуальні системи аналізу радіоелектронної обстановки.

Залежно від типу архітектурних модифікацій ЗНМ можна, в цілому, розділити на сім різних класів, а саме: ЗНМ на основі просторового використання; ЗНМ на основі використання глибини; розгалужені ЗНМ; ЗНМ з безліччю підключень на основі ширини; ЗНМ на основі використання карти ознак; ЗНМ на основі бустінгу каналів; ЗНМ на основі використання механізму уваги. Класифікацію архітектур ЗНМ наочно представлено на рис. 1 [171].

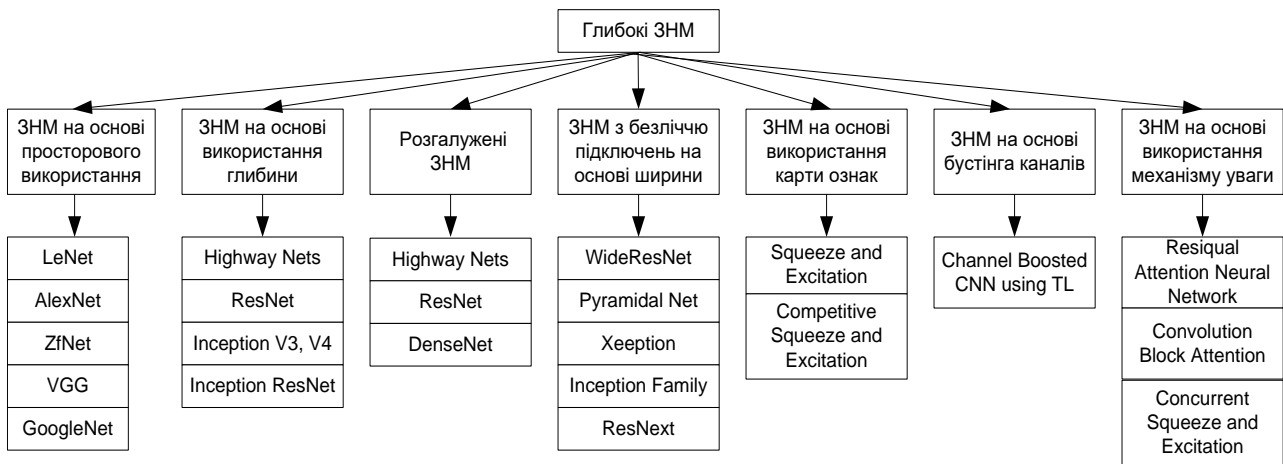


Рис. 1. Класифікація глибоких архітектур ЗНМ

Характерною особливістю сучасних ЗНМ є наявність унікальних блоків, які визначають їх суттєві особливості. Наприклад, блок стиснення та збудження, згортковий блок модуля уваги, модуль уваги каналу, модуль просторової уваги, залишковий блок, початковий модуль, блок ResNeXt [172–178]. Топології вищеназваних блоків (модулів) представлено на рис. 1. До унікальних блоків (шарів) слід віднести пакетну нормалізацію (англ. Batch Normalization) та блок спрощення (англ. Block Reduction).

Пакетна нормалізація

Пакетну нормалізацію можна розглядати як ще один шар, який можна вставити в архітектуру моделі, як і повнозв'язний або згортковий шари [178]. На практиці шари пакетної нормалізації вставляються після згорткового або повнозв'язного шару, але до того, як вихідні дані передаються в функцію активації. Пакетна нормалізація використовується для нормалізації вхідного шару шляхом повторного центрування і масштабування. Кожен шар нейронної мережі має входи з відповідним розподілом, на яке в процесі навчання впливає випадковість в ініціалізації параметрів і у вхідних даних. Вплив цих джерел випадковості на розподіл входів у внутрішні шари при навчанні визначається як внутрішній коваріантний зсув. Коротко зупинимося на функціональних характеристиках окремих унікальних блоках.

Блок спрощення

Проблема глибоких згорткових нейронних мереж полягає в тому, що кількість карт ознак часто збільшується із глибиною мережі. Ця проблема може призвести до різкого збільшення кількості параметрів та обчислень, необхідних при використанні більших розмірів фільтрів (ядер згортки), таких як 5×5 та 7×7 .

Для вирішення цієї проблеми може бути використаний згортковий шар 1×1 , який пропонує об'єднання каналів, яке часто називають субдискретизацією (агрегацією) карт ознак або проєкційним шаром [170]. Цей простий прийом можна використовувати для зменшення розмірності, зменшуючи кількість карт ознак, зберігаючи при цьому свої помітні риси. Це також може бути використано безпосередньо для створення індивідуальної проєкції карт ознак для об'єднання ознак по каналах або для збільшення кількості карт ознак, наприклад, після традиційних шарів субдискретизації.

Блок стиснення і збудження

Структуру блока стиснення і збудження (БСЗ) (англ. Squeeze and excitation block (SEB)) представлено на рис. 2.

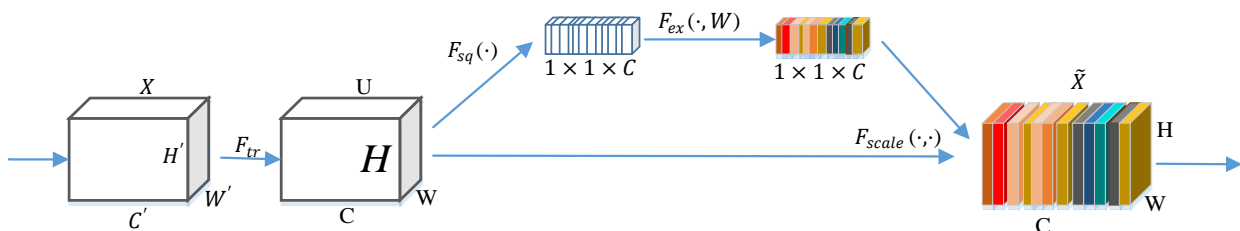


Рис. 2. Структура блоку стиснення і збудження

У блоці стиснення і збудження виконуються наступні операції: перетворення ознак або просту операцію згортки до вхідних даних X , щоб отримати ознаки U ; операція стиснення для отримання одного значення виходу U для кожного каналу; операція збудження, яка застосовується до виходів стислих даних, щоб отримати вагові коефіцієнти для кожного каналу; зміна масштабу карти ознак U з цими активаціями, щоб отримати результуючі вихідні дані блоку БСЗ. Роль, яку ця операція виконує на різній глибині, розрізняється по мережі.

На більш ранніх рівнях БСЗ збуджує інформативні ознаки незалежно від класу, посилюючи загальні уявлення нижнього рівня. На більш пізніх рівнях блоки БСЗ стають все більш спеціалізованими і реагують на різні входні дані, які строго залежать від специфіки класу.

Блок магістральної мережі

Магістральні мережі дозволяють безперешкодний потік інформації через багатомагістральні шари інформації за рахунок міжшарового підключення. Структуру блока магістральної мережі (БММ) (англ. Highway network block (HNB)) представлено на рис. 3.

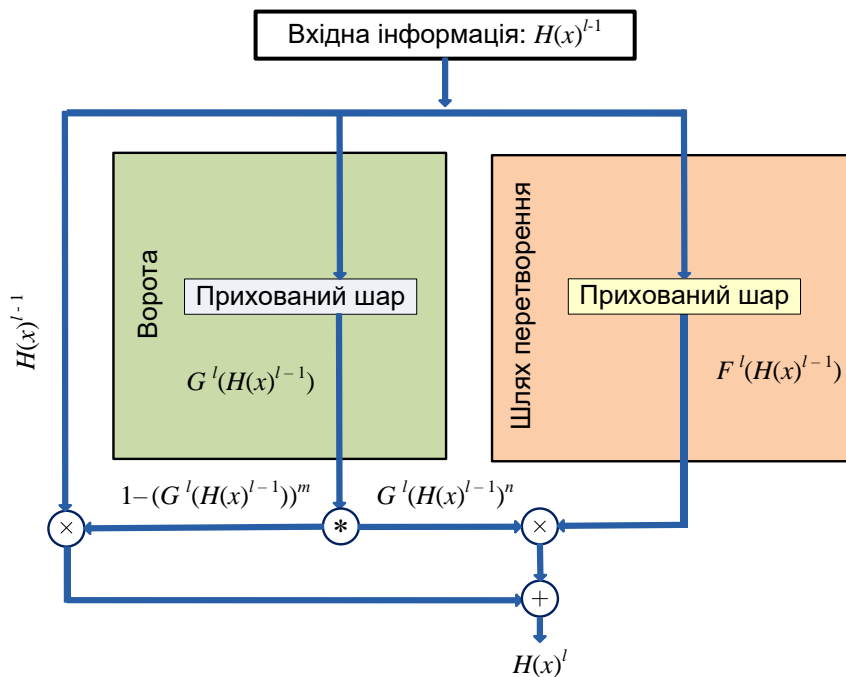


Рис. 3. Структура блоку магістральної мережі: $H(x)^{l-1}$ – інформація на шарі $(l-1)$ магістральної мережі, $G^l(H(x)^{l-1})$ – вихід модуля селекції, $F^l(H(x)^{l-1})$ – перетворення навчене на прихованому шарі l для входу $H(x)^{l-1}$

В роботі [177] навчання блоку магістральної нейронної мережі переформульовано для досягнення наступного: віддавати перевагу оптимізації на ранніх етапах навчання, коли на селекцію в основному спрямовують неперетворені ознаки; зосередитися на перетворенні навчальних ознак на більш пізніх етапах навчання, коли через селекції в основному проходять перетворені ознаки; покладатися на набагато меншу кількість селекцій для навчання

декількох шарів перетворення ознак, оскільки перехід селекцій більш ефективний для оптимізації і узагальнення моделі. Для досягнення вищезазначених характеристик навчання пропонується новий магістральний блок вигляду (рис. 4).

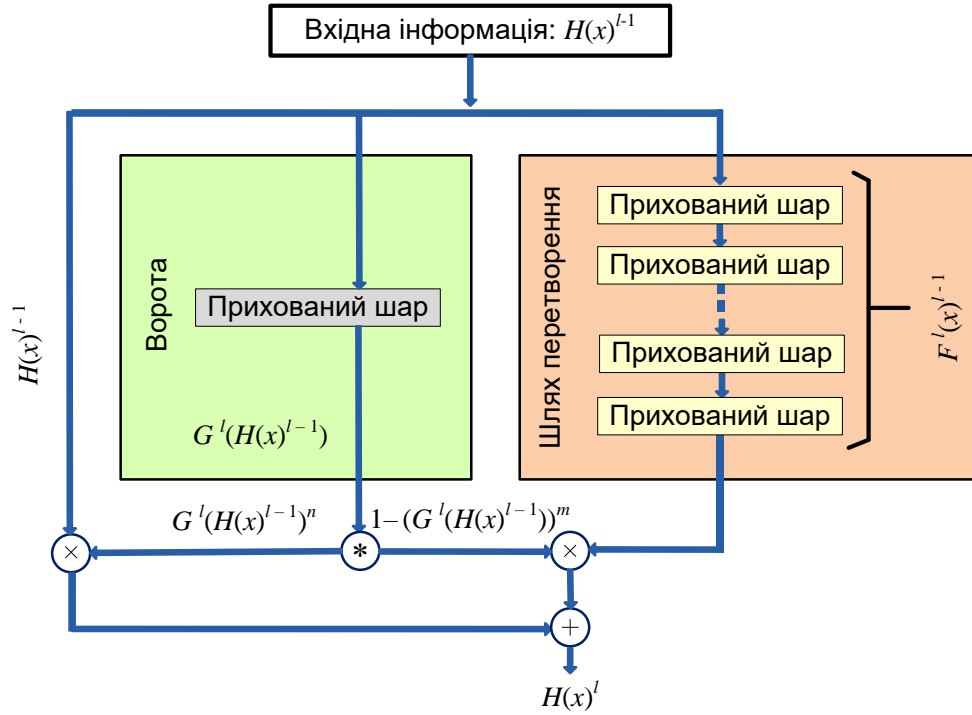


Рис. 4. Запропонований блок магістральної мережі: $H(x)^{l-1}$ – інформація на шарі $(l-1)$ магістральної мережі, $G^l(H(x)^{l-1})$ – вихід модуля селекції, $F^l(H(x)^{l-1})$ – перетворення навчене на прихованому шарі l для входу $H(x)^{l-1}$

Блоки магістральної мережі доцільно використовувати в ГЗНМ з метою покращення їх ефективності в задачах обробки відеоінформації.

Залишковий блок

Основна ідея розробки залишкового блоку полягає у наступному. Глибокі мережі витягають низько-, середньо-і високорівневі ознаки наскрізним багат шаровим способом, а збільшення кількості шарів або блоків, що складаються з декількох шарів може збагатити рівні ознак. Однак зі збільшенням глибини мережі навчання стає нестабільним, а досягається точність починає зменшуватися (деградувати). Це пов'язано із затуханням градієнта при зворотному проході в методі зворотного поширення помилки і, як наслідок,

погіршення роботи нейронної мережі. Структурну схему залишкового блока (англ. residual block), зображено на рис. 5.

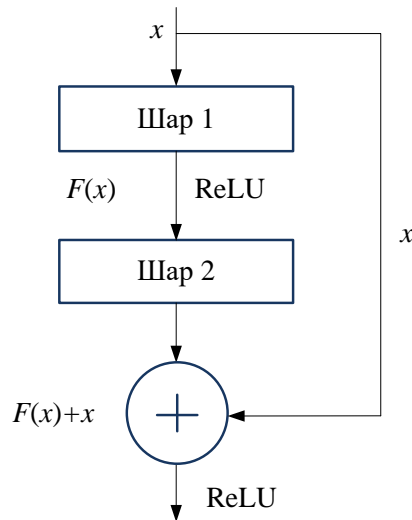


Рис. 5. Структурна схема залишкового блока

У даному блоці використовуються так звані швидкі з'єднання (англ. shortcut connections), тобто явно додається тотожне відображення. В результаті при зворотному проході в методі зворотного поширення помилки отримуємо: $dF(x)/dx + 1$. Таким чином, загасання градієнта не відбудеться, тому що завжди буде виконаний зворотній прохід. Такий дизайн вимагає, щоб вихідні дані двох згорткових шарів мали ту ж форму, що і вхідні, щоб їх можна було скласти до купи. Якщо потрібно змінити кількість каналів, необхідно ввести блок спрощення (додатковий згортковий шар 1×1), щоб перетворити вхідну інформацію x в бажану форму для виконання операції додавання. Згортка 1×1 просто відображає вхідний піксель з усіма його каналами на вихідний піксель, не дивлячись ні на що навколо себе. Така згортка часто використовується для зменшення кількості каналів глибини. З урахуванням необхідності використання пакетної нормалізації та додаткового згорткового шару 1×1 структура залишкового блоку має вигляд, представлений на рис. 6. Таким чином, наступний шар не витрачає свої ступені свободи на зсув і масштабування вхідних даних, а займається тільки оцінюванням їх структурних властивостей, як наслідок, отримується прискорення збіжності процесу навчання.

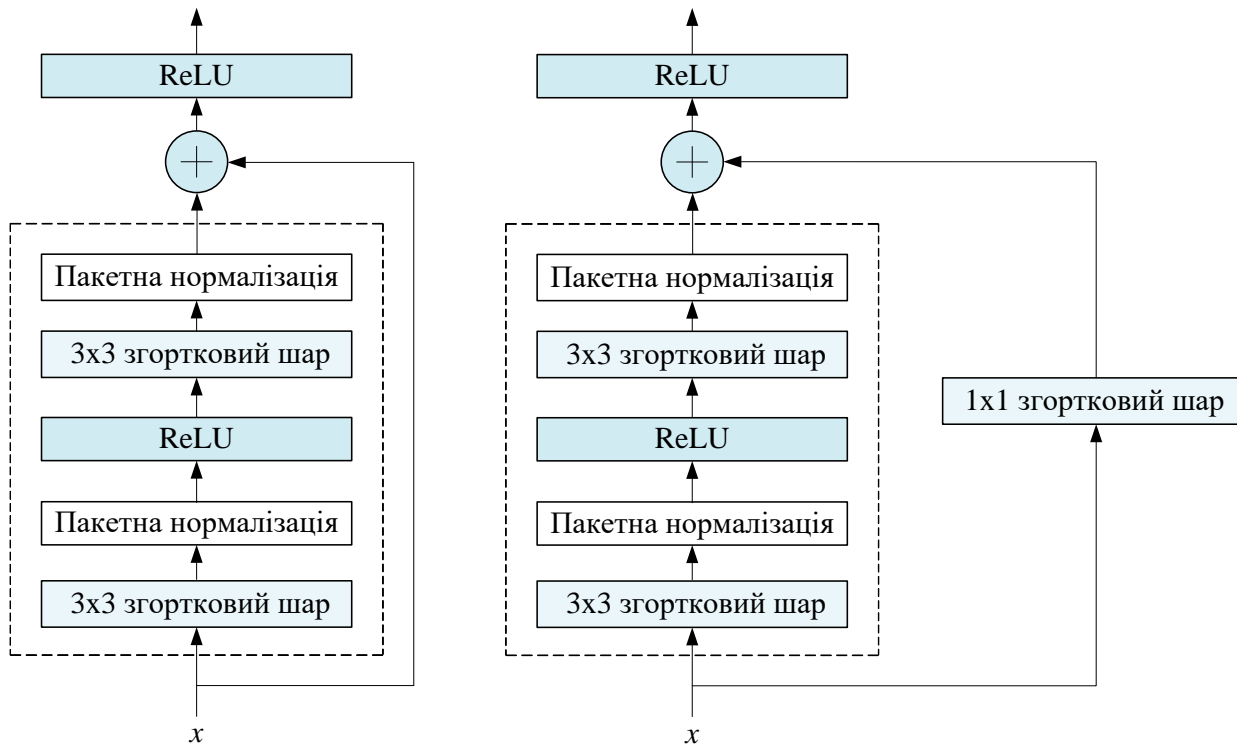


Рис. 6. Залишковий блок при наявності та відсутності згорткового шару 1×1

Використання залишкового блоку в складі ГЗНМ дозволяє знизити обчислювальні витрати та покращити результати обробки за рахунок збільшення кількості шарів НМ.

Блок Inception

Існує два способи збільшення якості мережі – збільшення глибини і збільшення ширини, але це пов'язано з підвищенням ймовірності перенавчання та неефективним використанням обчислювальних ресурсів – розріджена структура згорток неефективна в обчислювальному сенсі. Для усунення цих недоліків використовується кореляційна структура активацій попередніх шарів. Структуру блоку Inception наведено на рис. 7.

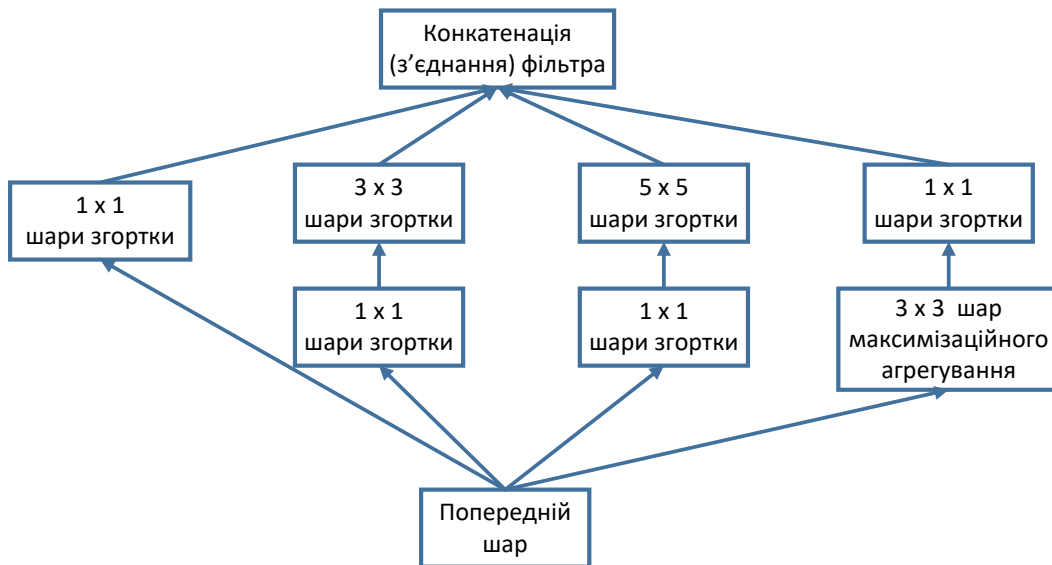


Рис. 7. Структура блока Inception

У кожному блоці є шари згортки з ядром різного розміру, щоб розпізнавати ознаки різного масштабу. Також в даній моделі активно використовуються згортки 1×1 , щоб зменшувати розмірність тензорів, які будуть подаватися на вхід наступного шару. Для того щоб не втратити інформацію, отриману в попередньому шарі також застосовується субдискритизуючий шар. Після нього також застосовується згортковий шар з ядром згортки 1×1 , в даному випадку для того, щоб вирівняти розмірність тензорів на виході після кожного паралельного шару. Потім відбувається конкатенація карт ознак, отриманих на кожному паралельному шарі.

Блок уваги

Механізми уваги – це підхід в машинному навчанні, що полягає у виділенні частини вхідних даних. Проте, згорткові мережі, які є найбільш популярним методом вирішення такого завдання, витрачають однакову кількість обчислювальних ресурсів на всі частини даних. Блок (модуль) уваги реалізується в двох варіантах: модуль уваги каналу та модуль просторової уваги. Модуль уваги каналу. Створюється карта уваги каналу, використовуючи взаємозв'язок ознак між каналами. Оскільки кожен канал карти ознак розглядається як детектор об'єктів, увага каналу зосереджується на тому, що має значення з урахуванням вхідних даних. Щоб ефективно обчислити увагу каналу, стискаємо

просторовий розмір карти вхідних характеристик. Для узагальнення просторової інформації дотепер загальноприйнятим є усереднювальне агрегування (рис. 8).

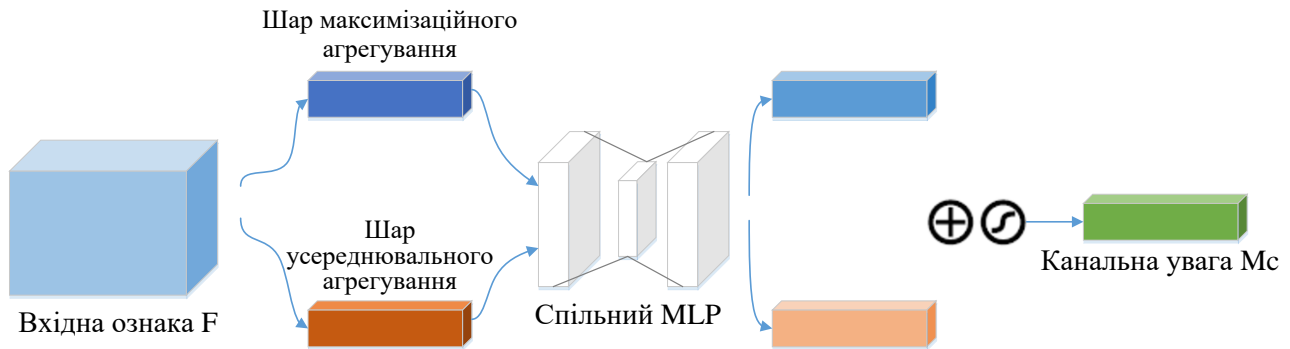


Рис. 8. Структурна схема модуля каналної уваги (англ. Channel Attention Module)

Модуль просторової уваги. Генерується просторова карта уваги, використовуючи міжпросторовий взаємозв'язок ознак. На відміну від уваги каналу, просторова увага зосереджується на тому, де є інформативна частина, яка доповнює увагу каналу. Для обчислення просторової уваги спочатку застосовуємо операції середнього та максимального об'єднання уздовж осі каналу та об'єднуємо їх для створення ефективного дескриптора ознак. Показано, що застосування операцій об'єднання уздовж осі каналу ефективно впливає на виділення інформативних областей. На об'єднаному дескрипторі ознак застосовано шар згортки, щоб сформувати просторову карту $M_s(F) \in \mathbf{R}^{H \times W}$ уваги, яка кодує, де слід підкреслити або придушити. Детальну структурну схему наведено на рис. 9.

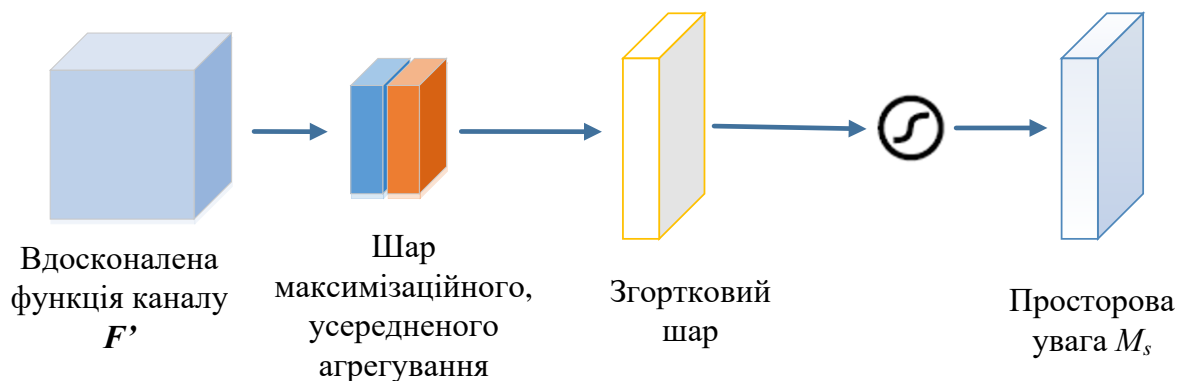


Рис. 9. Структурна схема модуля просторової уваги (англ. Spatial Attention Module)

Однією з основних проблем, що стримує подальший прогрес використання ЗНМ, є великий архітектурний простір параметрів, включаючи тип унікального блоку, місце розміщення в структурі ЗНМ, його зв'язки з іншими блоками та шарами. В результаті виникає задача структурно-параметричного синтезу ЗНМ.

Синтез гібридних згорткових нейронних мереж, які використовуються головним чином для обробки зображень значно складніше ніж синтез згорткових нейронних мереж. Такий синтез вимагає визначення типу унікальних блоків, які будуть використовуватися, узгодженні з сусідніми блоками, місць їх розміщення.

Ці складнощі вимагають спочатку розв'язання структурно-параметричного синтезу класичної ЗНМ на основі заданої навчальної вибірки. Класична ЗНМ складається із згорткових шарів, кожен нейрон яких виконує згортку деякої області попереднього шару, шарів агрегації (субдискретизації), що виконують функції зменшення розмірності карти ознак, і повнозв'язних шарів (класифікатор, який знаходиться на виході мережі). Згорткові шари та шари агрегації можуть чергуватися. Найчастіше шари агрегації розміщують за шарами згортки [176, 177]. Такий метод структурно-параметричного синтезу звичайних ЗНМ наведено в розділі 5. Далі ця мережа буде розглядатися як базова. Утворення гібридної структури за рахунок включення до складу базової ЗНМ унікальних блоків або ансамблю гібридних згорткових нейронних мереж дає нові можливості для підвищення ефективності розв'язання поставленої задачі. Задача структурно-параметричного синтезу гібридних ЗНМ розв'язується на основі застосування багатоетапної процедури визначення структури та параметрів гібридної ЗНМ з формуванням її двійкового представлення.

На основі вище наведеного методологію синтезу гібридних нейронних мереж можна представити у вигляді такої послідовності дій:

1. Структурно-параметричний синтез базової ЗНМ.
2. Структурно-параметричний синтез гібридної ЗНМ з визначенням типів та послідовності унікальних блоків, які вводяться до складу гібридної ЗНМ.
3. Структурно-параметричний синтез ансамблю, що складається з окремих

гібридних ЗНМ.

Структурно-параметричний синтез базової ЗНМ

Основою побудови ЗНМ є використання операції згортки з метою можливості навчання ЗНМ на окремих частинах вхідних даних. Розмір цих даних визначається розмірністю відповідного ядра згортки. При цьому слід зазначити, що нейрони, які відповідають одному і тому ж ядру згортки мають спільні ваги, що забезпечує зниження обчислювальних витрат ЗНМ в порівнянні, наприклад з багатошаровим персептроном. Шари НМ, які побудовані таким чином, називаються згортковими шарами.

З метою зменшення обчислювальних витрат до складу ЗНМ входять шари агрегації(субдискретизації), що виконують функції зменшення розмірності карти ознак. На основі визначених ознак формується аномальна область, для класифікації якої використовуються повнозв'язні шари (класифікатор, який знаходиться на виході мережі). Згорткові мережі будуються за правилом, а саме: спочатку розміщуються згорткові шари, їх кількість та визначається в результаті розв'язання задачі структурно-параметричного синтезу, а далі розміщується шар агрегації [172, 173]. Кількість таких повторів в мережі залежить від складності задачі.

Основними параметрами згорткової нейронної мережі [172] є: розмір ядра згортки (фільтра); кількість ядер згортки (залежить від кількості згорткових шарів); величина зміщення при пересуванні ядра згортки по матриці вхідних даних (крок ядра згортки); параметри (по вертикалі та горизонталі) урахування крайових ефектів (початкове положення ядра згортки на матриці або карті ознак перед початком переміщення з метою побудови карт ознак); початкове заповнення ядер згортки.

Як можна побачити, кількість параметрів, оптимальне значення яких треба визначити при структурно-параметричному синтезі ЗНМ може бути дуже великим. Тому необхідно скоротити кількість параметрів. Загальні правила не сильно впливають на цей процес – все залежить від навчальної вибірки. Тому пропонується визначати найбільш значущі з точки зору ефективності параметри

ЗНМ в результаті експерименту над загортковою нейронною мережею. Експеримент проводиться наступним чином: крок за кроком змінюється один з параметрів ЗНМ при фіксованих інших параметрах і визначається наскільки сильно змінився вихід.

Враховуючи велику кількість параметрів, за якими треба провести оптимізацію вищенаведених критеріїв для оптимізації структури та параметрів ЗНМ використано багатокритеріальний генетичний алгоритм [163].

Оптимізація структури та параметрів гібридної ЗНМ

Як було сказано вище, відповідно до запропонованої методології у результаті виконання першого етапу було отримано базову згорткову НМ, яка не має унікальних блоків. Назвемо гібридною згортковою мережею мережу, до складу якої входять різні унікальні блоки, вибір і розміщення яких визначимо на підставі використання генетичного алгоритму. Можливо використання більш складних блоків, а саме: Attention-Inception Block; Inception-Dense Block; Inception-Residual Block; Inception-Recurrent Residual Block; Deep Pyramid-Highway Block; Deep Pyramid-Self Attention, Squeeze and Excitation-Attention Block; Squeeze and Excitation-Dense Block; Squeeze and Excitation-Inception Block; Squeeze and Excitation-Residual Block; Residual-Squeeze and Excitation-Attention Block; Residual-Attention Block.

Багато сучасних мережних структур [174, 175] можуть ділитися на кілька угруповань. У кожному угрупованні геометричні розміри (ширина, висота й глибина) куба угруповання залишаються без змін. Сусідні угруповання зв'язані просторовою операцією субдискретизації. Структура базової НМ у загальному випадку представляє чергування двох згорткових шарів, за яким йде шар субдискретизації, тому гібридна ЗНМ будується на основі базової ЗНМ шляхом заміни згорткових шарів на угруповання. Всі згорткові операції в одному угрупованні мають одну й ту саму кількість фільтрів або каналів.

Надається двійкове строкове представлення для структури мережі в обмеженому випадку. Насамперед відзначимо, що багато сучасних мережних структур можуть бути поділені на кілька блоків. У кожному блоці геометричні

розміри (ширина, висота й глибина) куба шару залишаються без змін. Сусідні блоки зв'язані просторовою операцією субдискретизації (англ. pooling), що може змінити просторову роздільність. Всі згорткові операції на одному блоці мають одну й ту саму кількість фільтрів або каналів (рис. 10).

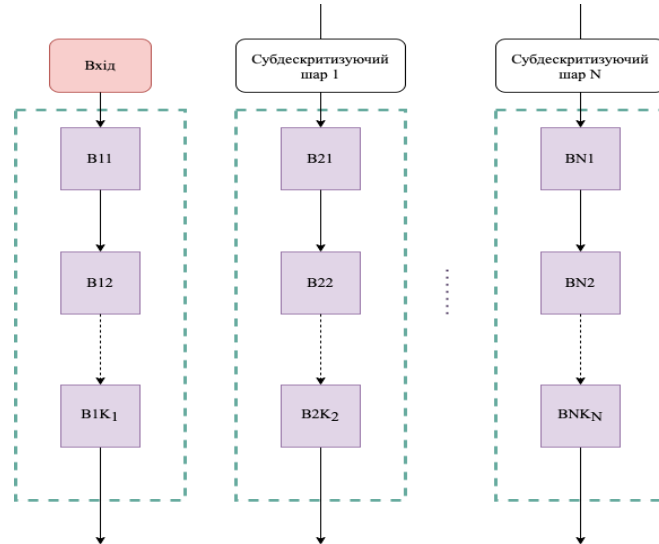


Рис. 10. Багатоблокова гібридна згорткова нейронна мережа

Кожна гібридна ЗНМ складається із S угруповань, а s -е угруповання, $s=1, 2, \dots, S$, містить K_s блоків, позначуваних $v_{s,k}$, $k=1, 2, \dots, K_s$. Вузли у кожному блоці впорядковані, і дозволяється з'єднання від вузла з меншим номером до вузла з більш високим номером. Кожному вузлу відповідає унікальний блок. Повнозв'язна частина мережі не кодується. У кожному угрупованні використаємо $\frac{1}{2} K_s (K_s - 1)$ бітів для кодування міжвузлових зв'язків. Перший біт представляє зв'язок між $(v_{s,1}, v_{s,2})$, тоді наступні два біти представляють з'єднання, між $(v_{s,1}, v_{s,3})$ і $(v_{s,2}, v_{s,3})$, тощо. Цей процес триває доти, поки останні біти $K_s - 1$ не будуть використовуватися для подання з'єднання між $v_{s,1}, v_{s,2}, \dots, v_{s,K_s-1}$ і v_{s,K_s} . Для $1 \leq i < j \leq K_s$, якщо код, що відповідає $(v_{s,i}, v_{s,j})$, дорівнює 1, існує ребро, що з'єднує $v_{s,i}$ і $v_{s,j}$, тобто $v_{s,j}$ приймає вихід $v_{s,i}$ у складі по-елементного підсумовування, і навпаки. Для навчання згорткової нейронної мережі в даній роботі використовується нормалізована ініціалізація, яка носить назву ініціалізація Glorot [172].

Процес селекції виконується на початку кожного покоління. До t -го

покоління n -му індивідові $M_{t-1,n}$ призначається фітнес-функція, що визначається як швидкість розпізнавання $r_{t-1,n}$, отримана в попередньому поколінні або ініціалізації $r_{t-1,n}$ прямо впливає на ймовірність, що $M_{t-1,n}$ зберігається в процесі вибору [164].

Процес мутації окремого $M_{t,n}$ включає незалежну заміну кожного біта з імовірністю q . На практиці q часто мале, наприклад 0,05, так що мутація навряд чи занадто сильно змінить один індивід. Це робиться для того, щоб зберегти гарні якості індивіда, що вижив, надаючи можливість випробувати нові можливості. Процес кросовера включає одночасну зміну двох індивідів. Замість того, щоб розглядати кожний біт окремо, основною ланкою кросовера є етап, що мотивується необхідністю зберегти локальні структури усередині кожної частки. Подібно мутації, кожна пара відповідних часток обмінюється з невеликою ймовірністю q [164]. Для налаштування вагових коефіцієнтів НМ використовується двоетапний алгоритм: на першому етапі застосовується генетичний алгоритм, а на другому, з метою покращення результатів налаштування, градієнтний алгоритм AdaM.

Агрегація результатів відбувається одним із трьох методів:

– Ensemble-ADD (використовується на рис. 11): об'єднує результати Mask R-CNN, DeepLabV3 і Deep Pyramid Attention Module для створення остаточної маски сегментації;

– Ensemble-Comparison-Large: вибирає велику сегментовану область, порівнюючи кількість даних у вихідних даних всіх сегментатор.

– Ensemble-Comparison-Small: навпаки, вибирає меншу сегментовану область на виході всіх сегментатор.

В роботі [170] для побудови ансамблю використано метод Ensemble-ADD. Ensemble-ADD(CША) об'єднує результати як Mask R-CNNADD (CША), DeeplabV3+ADD (CША), Deep Pyramid-Attention ModuleADD (CША) щоб створити остаточною маску сегментації.

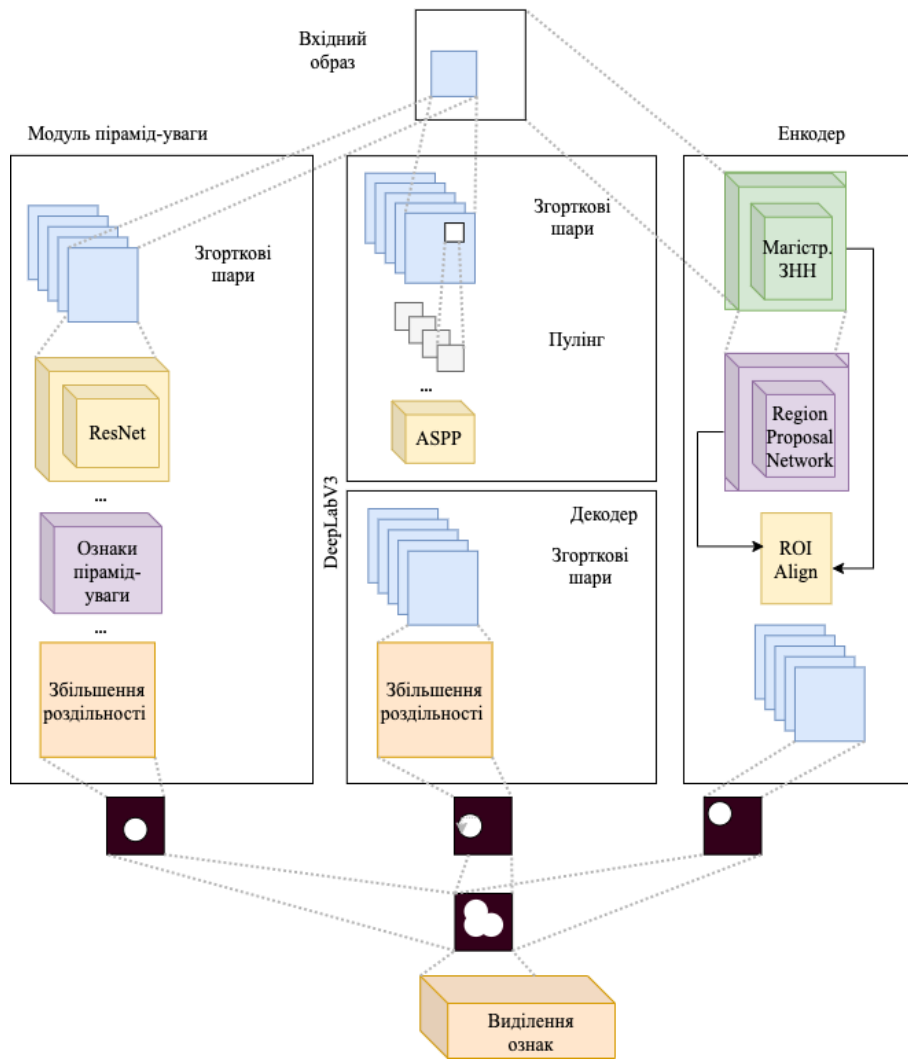


Рис. 11. Архітектура ансамблю сегментації

Оцінимо ефективність алгоритмів за допомогою індексу подібності Жаккара (JSI), чутливості, специфіки, точності, коефіцієнта подібності гральної кістки (Dice) і коефіцієнту кореляції Метью (MCC) [174]:

$$\text{Чутливість} = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (3)$$

$$\text{Специфіка} = \frac{TN}{FP + TN}, \quad (4)$$

$$\text{Точність} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}, \quad (5)$$

$$\text{Коефіцієнт подібності Жаккара} = \frac{TP}{(TP + FP + FN)}, \quad (6)$$

$$\text{Dice} = \frac{2 + \text{TP}}{(2 + \text{TP} + \text{FP} + \text{FN})}, \quad (7)$$

$$\text{MCC} = \frac{\text{TP} + \text{TN} - \text{FP} + \text{FN}}{\sqrt{(\text{TP} + \text{FP})(\text{TP} + \text{FN})(\text{TN} + \text{FP})(\text{TN} + \text{FN})}}. \quad (8)$$

Чутливість визначається в рівнянні (3), де TP – справжні позитивні результати і FN – хибнонегативні. Висока чутливість (близька до 1,0) вказує на хорошу продуктивність під час сегментації, всі поразки були успішно сегментовані. З іншого боку, Конкретність (як у рівнянні (4)) показує частку істинно негативних (TN) серед неушкоджень. Висока специфічність вказує на здатність методу не сегментувати осередок ураження. Точність методів сегментації визначає відсоток джерел радіовипромінювання, які були правильно класифіковані, як у рівнянні (5). JSI і Dice – це міра того, наскільки схожі передбачення і достовірність, шляхом вимірювання кількості виявлених TP і штрафів за FP, знайдені методом, як в рівнянні (6) і (7) відповідно. MCC має діапазон від –1 (абсолютно неправильний двійковий класифікатор) до 1 (повністю правильний двійковий класифікатор). Використовується для оцінювання ефективності алгоритмів сегментації, заснованих на бінарній класифікації (ураження у порівнянні з неураженням), як у рівнянні (8).

На основі ансамблевої сегментації виділяються ознаки, які є вхідною інформацією для розв'язання задачі класифікації. Вхідні дані можуть розбиватись на певні групи для обробки різними НМ чи подаватись на всі мережі одночасно. Основна складність об'єднання мереж в ансамблі – це навчання всіх складових для розв'язання задачі. З метою підвищення ефективності навчання НМ навчаються окремо (якщо це можливо), а потім об'єднуються в єдину структуру. Однак, у випадку, якщо алгоритми налаштування вибраних топологій відносяться до різних класів навчання, вимагається синхронне навчання всіх ШНМ, що входять в ансамбль, а отже необхідно розробити єдиний алгоритм налаштування всіх ЗНМ ансамблю.

На основі вищенаведеного аналізу в роботі використовується паралельна структура ансамблю (бегінг) з шаром об'єднання. Необхідною й достатньою

умовою для побудови ансамблю ЗНМ, який має більшу точність розв'язання задачі класифікації ніж кожна окрема ЗНМ є включення до його складу ЗНМ, які відповідають критеріям точності та різноманітності. Оскільки різноманітність ансамблю зменшується зі збільшенням точності членів ансамблю, то розв'язання задачі створення ефективного ансамблю зводиться до пошуку компромісу.

Однією із важливих вимог для побудови ансамблів є забезпечення різноманітності між моделями класифікації, що може бути виконано шляхом оперування процесом моделювання або вхідними даними. Оперування процесом моделювання полягає в побудові моделей класифікації з використанням або різних алгоритмів навчання, або одного алгоритму навчання, але з різними параметрами. Більш популярні підходи до оперування вхідними даними – це оперування навчальними вибірками і вхідними ознаками. Алгоритми, що використовуються для управління навчальними вибірками, можуть генерувати кілька гіпотез, в яких алгоритм навчання застосовується до різних підмножин навчальних вибірок. Алгоритм збору даних складається з випадкового поділу вихідного набору даних на кілька навчальних підмножин однакового розміру на основі вибірки з заміною, яка може застосовуватися до будь-якого алгоритму навчання. Аналогічним чином алгоритм підвищення об'єднує результати класифікації з використанням одного і того ж алгоритму навчання; однак цей тип алгоритму є ітеративним, коли кожна нова модель заснована на результаті раніше побудованої моделі. Алгоритми оперування вхідними характеристиками створюють ансамблі на основі різних підмножин ознак, доступних алгоритму навчання. Цим процесом може бути, наприклад, випадкове поділ набору ознак на підмножини [170, 172] або використання алгоритму вибору ознак в поєднанні з оперуванням навчальними вибірками. Одна з проблем, що впливають на продуктивність класифікаторів, полягає в тому, як визначити, які функції мають значення для опису образів (зразків), які цікавлять. Отже, алгоритми вибору ознак [174] можуть використовуватися у разі побудови ансамблю для досягнення високої ефективності. Основним внеском цього дослідження є моделі вибору підмножини ознак, засновані на конкретних групах ознак, і алгоритми вибору

ознак для оперування вхідними ознаками. Відбір ознак для кожного класифікатора в подальшому ансамблі відбувається різними методами: коефіцієнт кореляції Пірсона; коефіцієнт підсилення на основі вибору ознак; Relief-F; аналіз основних компонентів; вибір функцій на основі кореляції.

Використання різнорідних класифікаторів (дерево прийняття рішень, багат шаровий перцептрон, нейро-нечіткі мережі, Баєсівський класифікатор) на різних вибірках і ознаках для отримання остаточного класу оброблюваних даних. Агрегація відбувається одним із методів: зважування; мажоритарне голосування; мета-модель.

Точність розв'язків окремих згорткових класифікаторів наведено у табл. 1–5.

Таблиця 1

Точність розв'язків окремих згорткових класифікаторів без пропонованої архітектури сегментації

Класифікатор	Тренувальна точність, %	Тестова точність, %
Residual-Squeeze Module	92.11	90.39
Squeeze and Excitation-Attention Module	97.98	91.93
Inception-Attention Block	97.11	91.74
Squeeze and Excitation-Residual Module	90.66	90.02

Таблиця 2

Точність розв'язку повного згорткового мажоритарного ансамблю

Тренувальна точність	Тестова точність
97.65%	93.36%

Таблиця 3

Точність розв'язку окремих класифікаторів з пропонованою архітектурою сегментації

Класифікатор	Тренувальна точність, %	Тестова точність, %
Multilayer perceptron	94.23	91.82
Decision Tree	95.91	92.56
NefClassM	92.67	90.41

Таблиця 4

Точність повного ансамблю класифікаторів з ансамблем сегментації

Тренувальна точність, %	Тестова точність, %
96.6	97.14

Таблиця 5

Точність інших різноманітних архітектур ансамблів

Ансамбль	Тренувальна точність, %	Тестова точність, %
Random Forest	97.32	87.15
AdaBoost	54.96	54.25
Bagging Decision Tree	94.41	83.85
CNN bagging	94.96	91.39

Використання наведеної структури дозволить підвищити якість розв'язання задачі класифікації, особливо в складних умовах при наявності великої кількості ознак різної природи.

Висновки

1. Обґрунтовано вибір унікальних блоків (модулів) на основі аналізу і функціональних можливостей з метою їх використання в ГЗНМ. Це дає можливість підвищити якість виявлення ознак при зборі, обробці та узагальненні інформації.

2. Запропоновано методичний підхід з інтелектуальної оцінки та прогнозування радіоелектронної обстановки, який полягає в розв'язанні послідовності задач структурно-параметричного синтезу базової ЗНМ, гібридної ЗНМ з визначенням типів та послідовності унікальних блоків, які вводяться до складу гібридної ЗНМ, ансамблю, що складається з окремих гібридних ЗНМ, що дозволить підвищити точність розв'язання задач класифікації та скоротити обчислювальні витрати.

Методичний підхід базується на поступовому включенні до складу базової ЗНМ унікальних блоків або їх послідовності, що дозволить підвищити точність розв'язання задач класифікації та скоротити обчислювальні витрати.

Запропоновано підходи побудови гібридних згорткових нейронних мереж ансамлевої структури як для розв'язання задач сегментації, так і класифікації, що дозволить підвищити точність аналізу радіоелектронної обстановки (табл. 1–5).

SECTION 4. ELECTRICAL ENGINEERING

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.4.1

4.1 Determination of critical mechanical loads on flexible connection structures as part of a mobile robotic platform

There is a need to improve the commutation system of mobile robotic platforms (MRP) using flexible structures – printed circuit boards and cables [179-180]. Flexible printed structures (FPS) provide several advantages over traditional mounting technologies using bulky wires and printed circuit boards on rigid bases [181]. Due to their use, it is possible to obtain a significant gain in overall dimensions and mass indicators, ensure the dynamic flexibility of electronic modules and, at the same time, increase reliability under constant mechanical influences conditions such as impacts, bends, vibrations, etc [182-184]. The objective of the study is to mechanically determine for the experimental samples that can be used as part of the MRP.

In this work, the following types of mechanical loads on the FPS were studied: tension; bends and torsions; cyclic loads; resistance to mechanical wear under the abrasive friction action [185-189].

The parametric model of the mechanical action on tension can be written as follows:

$$D_{ts} = \langle v_{ts}, F_{ts}, \alpha \rangle,$$

where v_{ts} is impact speed, mm/sec; F_{ts} is impact force, kN; α is axis relative to sample.

The parameter of the mechanical effect on bends and torsions is the bend radius.

The cyclic loads parametric model can be written as:

$$D_{cl} = \langle f, A, K_{cl} \rangle,$$

where f is load frequency, Hz; A is load amplitude, mm; K_{cl} is set of parameters characterizing the mechanics of certain load.

To simulate mechanical influences, the COMSOL Multiphysics 4.2 software was used. Using the COMSOL Multiphysics allows to consider coupled or “Multiphysics” phenomena.

To study mechanical loads, a flexible cable model was developed (Fig. 1). Foiled polyimide was chosen as the main material. Material characteristics and impact parameters were added to the model (Fig. 2).

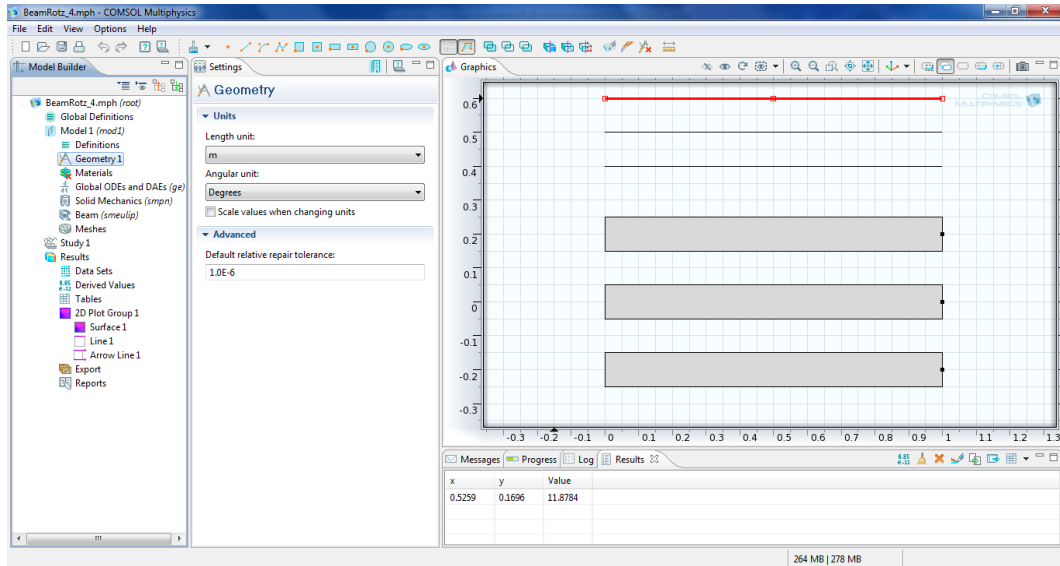


Figure 1. Development of a FPS geometric model.

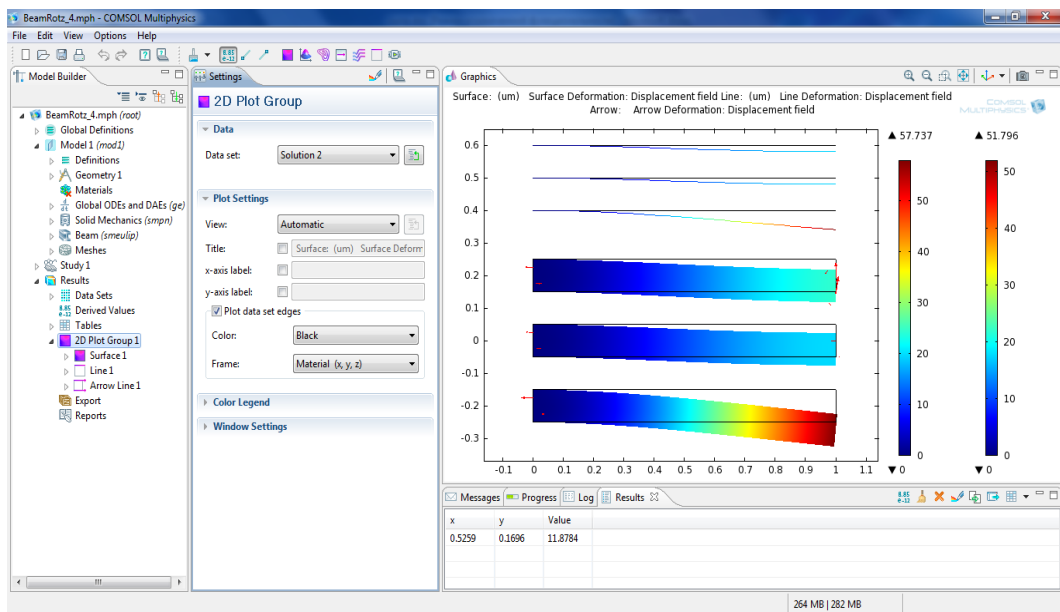


Figure 2. Simulation of the one cable end curvature.

The result of simulation the mechanical action on the curvature with a force of 15 N is shown in Fig. 3.

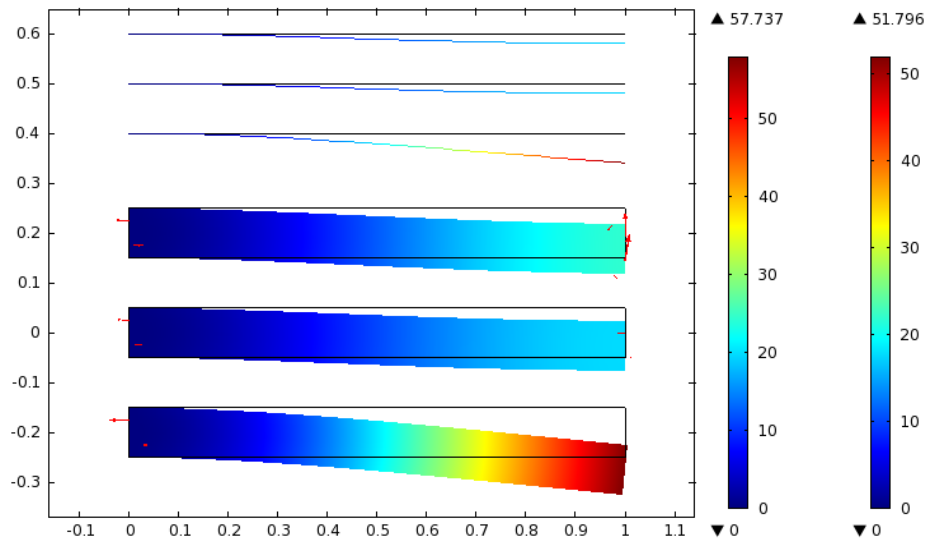


Figure 3. The result of simulation the curvature force of a flexible cable.

Similarly, a mechanical load simulation with a force of 4 N acting perpendicular to the flexible structure was carried out (Fig. 4).

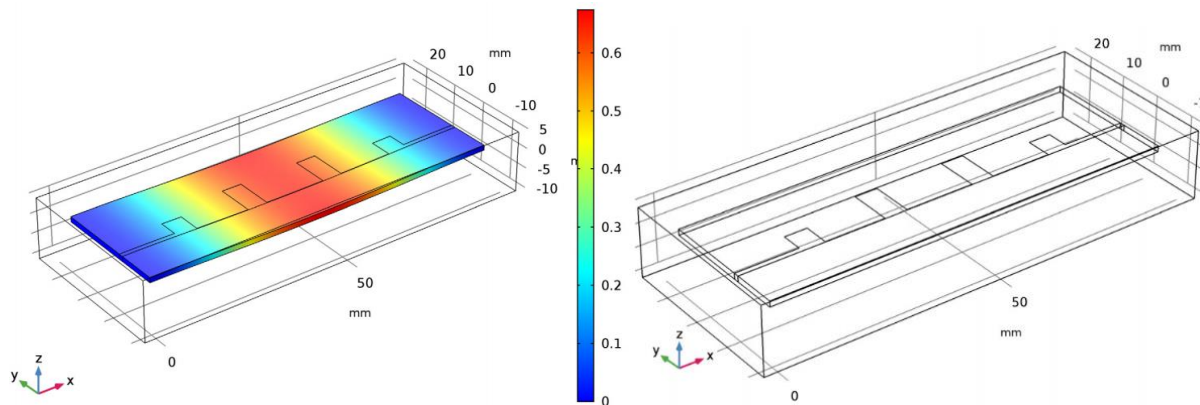


Figure 4. The result of mechanical load simulation perpendicular to the FPS.

Also, using a special package of this program, a simulation of the vibration impact on a flexible cable was performed (Fig. 5). For a more loads visual distribution on the base material, slots were made in it perpendicular to the longitudinal axis.

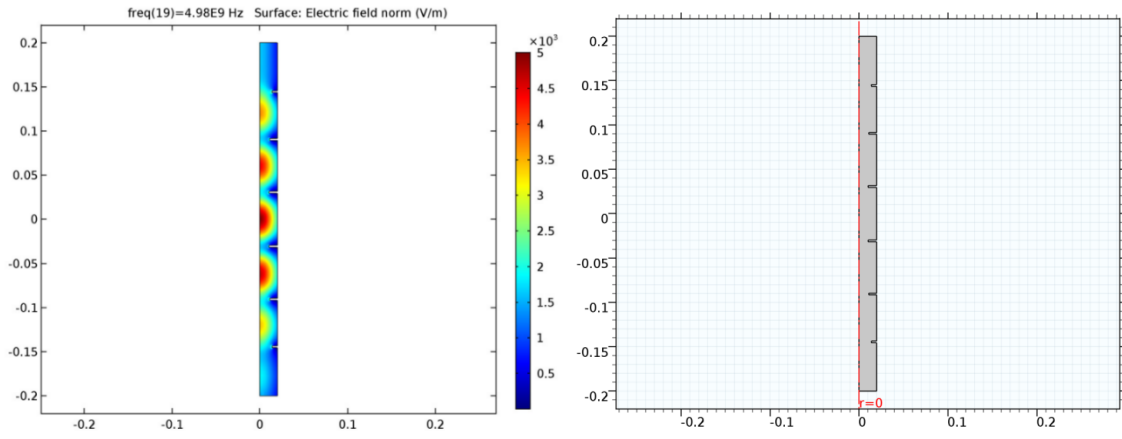


Figure 5. Vibration simulation result.

A classical bend simulation under the force action of 10 N, acting perpendicular to the FPS, was also carried out (Fig. 6).

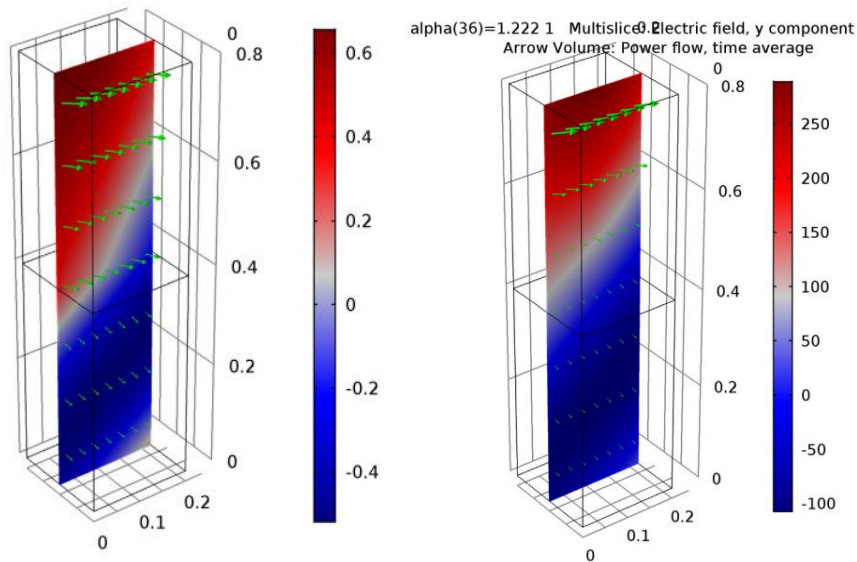


Figure 6. A perpendicular bend simulation result to the FPS.

Also, shift tests of FPS with a complex design were carried out, as well as a simulation of the mechanical load on the conductor layer elements of the cable, which constructively rotates in a plane (Fig. 7).

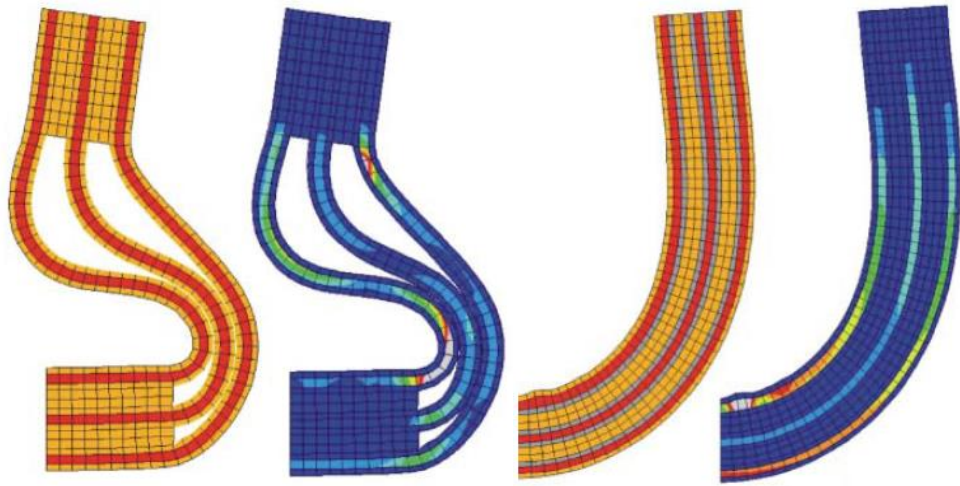


Figure 7. Simulation results.

For an experimental study of the destructive force on the break effect, several types of FPS test samples were selected (Fig. 8). In Fig. 8, the upper and lower samples are made of polyimide, and the test sample in the middle has a black colored polyether base.



Figure 8. FPS test samples.

To perform the experiment, a universal tensile testing machine UIT STM 010 (Fig. 9) was used along with the SmartTension software.

Initially, a sample based on polyimide with copper conductors was chosen for the experiment. The experiment speed of 5 mm/min was chosen. The break of the sample occurred when loading is 130 kgf and after elongation by 14 mm.

In Fig. 10 a graph of the break is shown, and in Fig. 11 there is the flexible cable state at the break point.



Figure 9. Universal tensile machine UIT STM 010.

A second experiment was also carried out with a test sample based on polyether with aluminum conductors. The tensioning speed was also 5 mm/min. For this sample, the maximum load was 160 kgf, and the elongation was about 40 mm. In Fig. 12 there is a graph of the break, and in Fig. 13 the FPS state at the break point is shown.

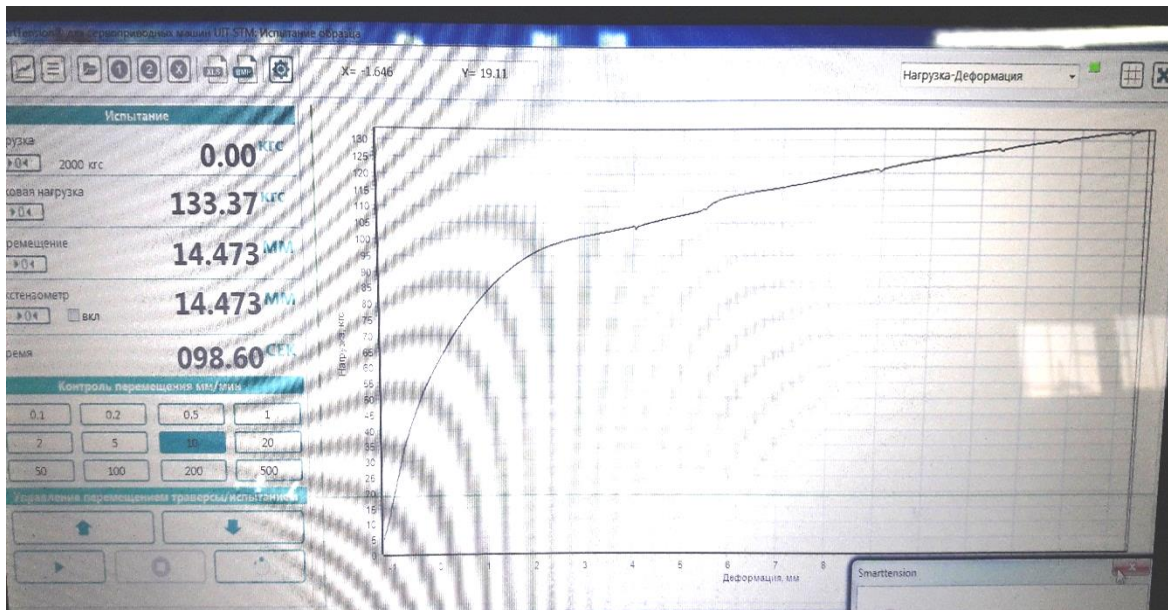


Figure 10. Breakout plot for polyimide sample with copper conductors.

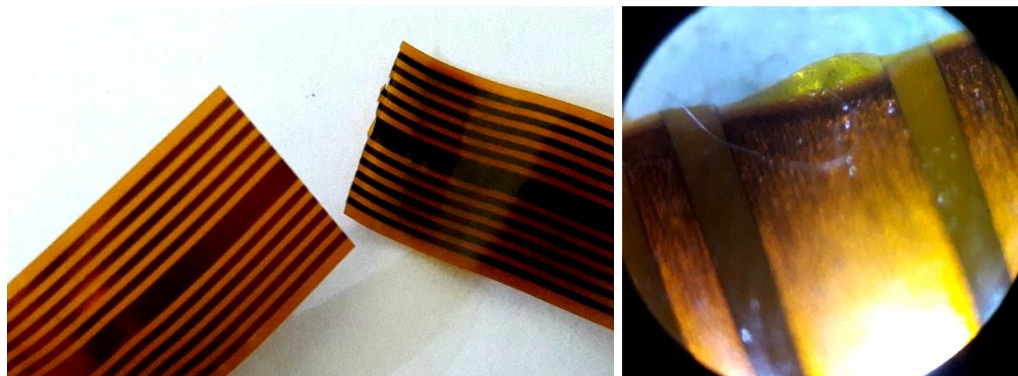


Figure 11. Flexible cable based on polyimide with copper conductors at the break point.

After analyzing the graphs of copper and aluminum break (Fig. 14), we can conclude the graphs similarity with component FPS.

Therefore, based on the experiments results, the following conclusions can be formulated:

- in the case of a polyimide-based cable with copper conductors, the base was stretched more than the conductor layer;
- in the case of a polyether-based cable with aluminum conductors, it turned out to be less plastic than the conductor layer;

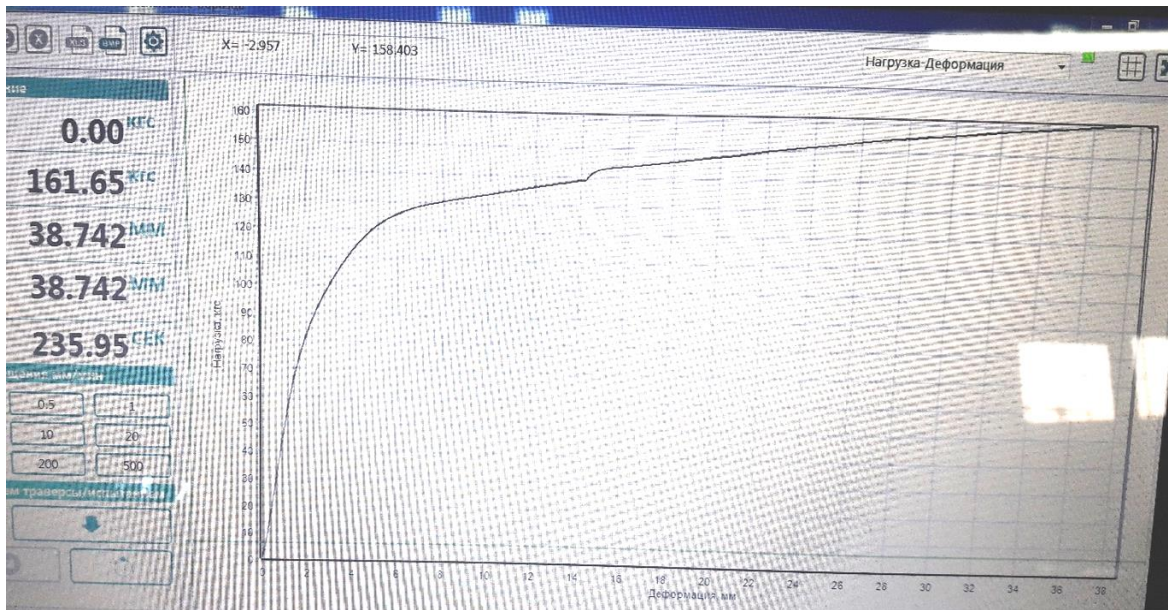


Figure 12. Breakout plot of polyether-based sample with aluminum conductors.

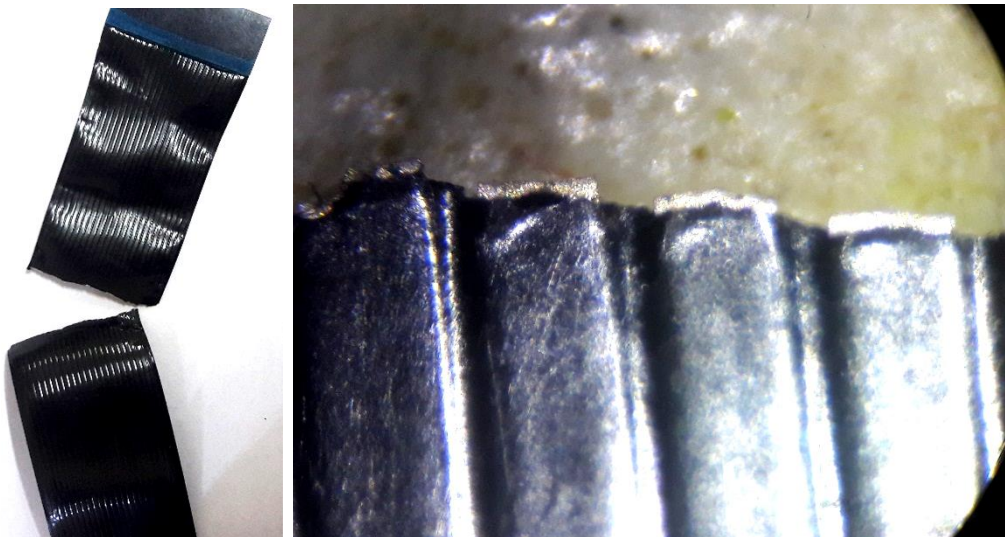


Figure 13. Flexible polyether-based cable with aluminum conductors at the break point.

– thus critical mechanical loads on flexible connection structures as part of a mobile robotic platform were determined. Considering the obtained results, namely the proportional sections of the breaks graphs, we can conclude that the first test sample can withstand non-critical loads up to 40 kgf, and the second – up to 80 kgf.

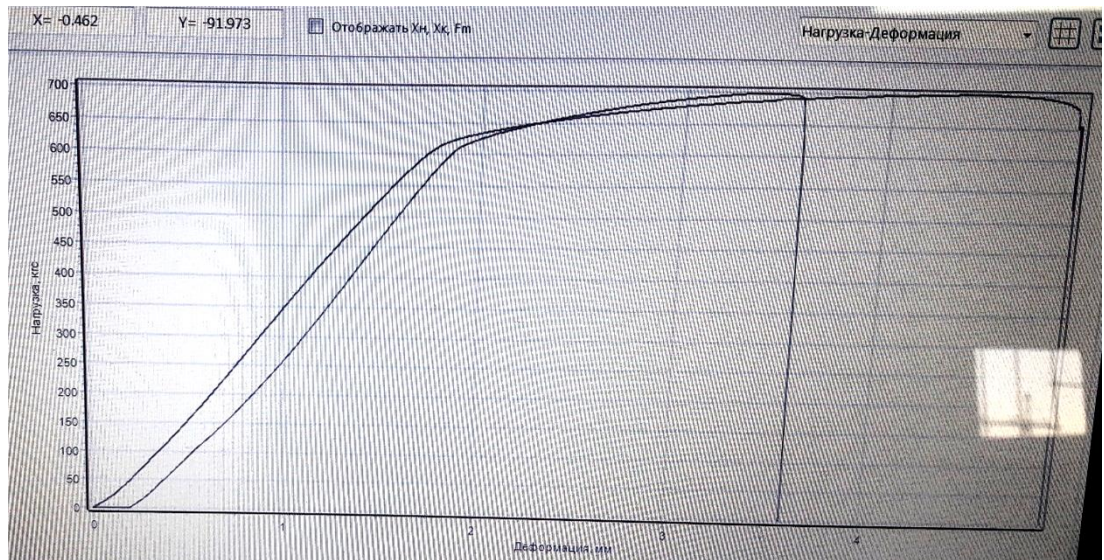


Figure 14. Copper and aluminum break graphs.

SECTION 5. ENERGY AND ENERGY ENGINEERING AND TECHNOLOGIES

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.5.1

5.1 Use of natural circulation in safety systems of small modular reactors

Є.О.Чеплаков, Ю.О.Комаров **Використання природної циркуляції в системах безпеки малих модульних реакторів.** У статті обґрунтовано причину використання природної циркуляції в системах безпеки АЕС для відведення залишкових енерговиділень після припинення ланцюгової ядерної реакції розподілу. Дано короткий опис принципу природної циркуляції, опис процесу, причини виникнення, умови її підтримки. Також представлений аналіз умов виникнення природної циркуляції в одній із систем безпеки малого модульного реактора, розробленого американською компанією NuScale.

Ключові слова: природна циркуляція, система безпеки АЕС, малі модульні реактори NuScale

Ye. Cheplakov, Yu. Komarov **Use of natural circulation in safety systems of small modular reactors.** The article substantiates the reason for the use of natural circulation in the safety systems of nuclear power plants to divert residual energy after the cessation of the nuclear fission chain reaction. A brief description of the principle of natural circulation, a description of the process, the causes, the conditions of its support. An analysis of the conditions of natural circulation in one of the safety systems of a small modular reactor developed by the American company NuScale is also presented.

Key words: natural circulation, NPP safety system, small modular NuScale reactors

З самого початку енергетичного реакторобудування стояло завдання забезпечення та підвищення технічної безпеки, що передбачає неперевищення встановлених меж радіаційного впливу на персонал, населення та навколишнє середовище при нормальній експлуатації атомної станції, порушення нормальної експлуатації та проектних аваріях, а також обмеження радіаційного впливу при запроектованих аваріях.

Однією з сучасних напрямів енергетичного реакторобудування стала розробка малих модульних реакторів (ММР). Основною відмінністю ММР від реакторів великої потужності у сфері забезпечення безпеки є широке використання пасивних систем безпеки. У цій статті описана одна із систем безпеки ММР від компанії NuScale, заснована на природній циркуляції (ПЦ) теплоносія, а отже має пасивний принцип дії.

NuScale Power - американська приватна компанія, яка розробляє та продає ММР. Штаб-квартира знаходиться в Тигарді, Орегон, США.

Основним завданням даної роботи є дослідження умов виникнення ПЦ, а саме вплив витрати на рушійний напір, вплив геометричних параметрів (різниця висот між парогенератором та теплообмінником та зміна їх висот).

Для реалізації цієї мети поставлено та вирішено такі завдання:

- аналіз конструктивних особливостей систем ММР з метою розробки розрахункової схеми та встановлення необхідних вихідних даних;
- на основі відомих досліджень [190-191] сформуванню методик розрахунку рушійного напору природної циркуляції та розрахунку гідравлічного опору контуру природної циркуляції;
- виконати розрахунок контуру природної циркуляції та провести аналіз отриманих результатів із встановленням умов виникнення ПЦ у аналізованій системі безпеки ММР.

Ядерний енергетичний реактор - пристрій, призначений для організації та підтримки контрольованої та керованої ланцюгової ядерної реакції поділу.

Усі режими роботи умовно можна поділити на дві групи: - нормальна експлуатація; аварійні режими

Як у першому, так і у другому випадку існує необхідність відведення тепла від активної зони реактора. Цей процес здійснюється за допомогою теплоносія (у нашому випадку вода), а пристрій для відведення тепла називається теплообмінним апаратом (парогенератор, конденсатор тощо).

У парогенераторі тепло від активної зони, за допомогою теплоносія першого контуру передається теплоносію другого контуру, а далі пар надходить на турбіну, потім в конденсатор.

У разі нормальної експлуатації система діє за схемою, що описана вище, але у разі аварійної ситуації - принцип її роботи змінюється.

У малому модульному реакторі NuScale є кілька основних систем безпеки [192]:

- система аварійного охолодження активної зони – Emergency Core Cooling System (ECCS);

- система відведення залишкового тепла – Decay Heat Removal System (DHRS).

Обидві системи працюють за принципом природної циркуляції.

ПЦ – процес циркуляції теплоносія по замкнутому контуру, без застосування додаткової енергії (насоси, турбоприводи тощо). ПЦ можлива за умови різниці мас теплоносія у підйомній (парогенератор) та опускній (теплообмінник аварійного розхолодження) частинах. Маса теплоносія безпосередньо залежить від його щільності та об'єму, а отже, зі збільшенням температури змінюється щільність речовини (зменшується).

З формули густини речовини [193] ми можемо висловити масу:

$$m = \rho V, \quad (1)$$

де m - маса речовини, кг;

V - Обсяг речовини, м³.

Звідси випливає, що при зміні щільності речовини, змінюється його маса. Таким чином, теплоносій з меншою масою – піднімається вгору, а з більшою масою – опускається вниз. Цей принцип є основним у процесі природної циркуляції [194]. Умовна схема процесу ПЦ показано рисунку 1.

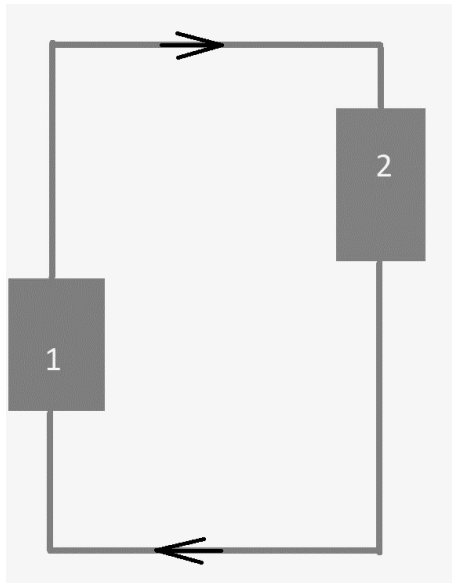


Рисунок 1 – Схематичне зображення контуру ПЦ

1 – гаряче джерело; 2 – холодне джерело.

Гарячий теплоносій від джерела 1 внаслідок різниці густин піднімається трубами вгору і далі, потрапляючи в джерело 2 охолоджується, що призводить до збільшення його щільності і за рахунок гравітаційних сил опускається по контуру вниз і знову потрапляє в джерело 1, де нагрівається. Таким чином однією з умов підтримки безперервної ПЦ є наявність гарячого та холодного джерела. Важливою умовою є необхідна різниця висот між гарячим і холодним джерелом.

У цьому розділі проведено аналіз умов виникнення ПЦ у системі DHRS [192]. DHRS забезпечує охолодження для проектних подій, не пов'язаних з аваріями із втратою теплоносія, коли звичайне охолодження вторинного контуру недоступне або не використовується іншим чином. DHRS призначена для видалення залишкового тепла після припинення ланцюгової ядерної реакції в активній зоні та переведення MMP у безпечний кінцевий стан без використання зовнішнього джерела електроживлення [192].

DHRS є пасивною системою, в якій використовується ПЦ, при цьому тепло від парогенератора за допомогою двох теплообмінників відводиться в басейн реактора. З погляду резервованості DHRS має два незалежних канали, кожен із яких здатний виконувати функцію безпеки системи у разі одиничного відмови [192]. Контур природної циркуляції реактора NuScale представлений рисунку 2.

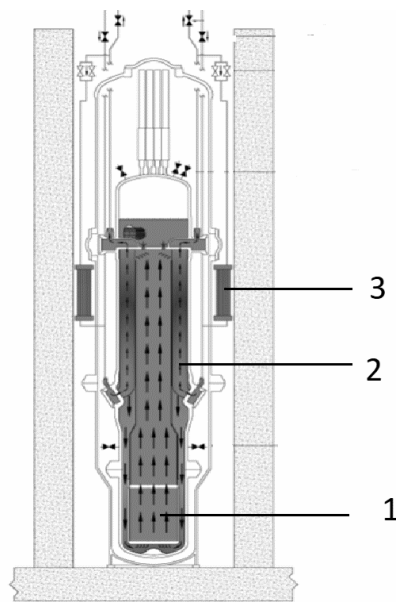


Рисунок 2 – Система відведення залишкового тепла [190]

Контур ПЦ складається з парогенератора (2), трубопроводів, арматури (клапанів), двох теплообмінників (3).

Гарячий теплоносій від активної зони (1) по центральній трубі (стояку) піднімається вгору, проходячи через спіральний парогенератор (2), передаючи теплоту теплоносію в парогенераторі. Теплоносій другого контуру від парогенератора переносить теплоту до теплообмінника аварійного розхолодження (ТОАР) (3).

Реактор занурений у басейн із водою. Тиск у басейні дорівнює атмосферному, температура дорівнює 35-40 °С. Басейн є відкритим резервуаром з водою, куди занурений реактор. Охолодження води у басейні відбувається за рахунок постійної вентиляції приміщення.

Теплоносієм, що відводить тепло від ТОАР, є вода у басейні. Таким чином відводиться близько 90% тепла від активної зони в аварійному режимі та в режимі розхолодження.

Для коректного проектування DHRS насамперед необхідно провести розрахунковий аналіз основних характеристик контуру циркуляції, які можуть забезпечити підтримання ПЦ. Було проведено два розрахунки, в яких застосовувалася одна з наступних граничних умов:

1. Теплоносій – вода;

2. Теплоносій – пароводяна суміш.

В обох розрахунках умовою ПЦ виступає рівність:

$$P_{дв} = \Sigma P, \quad (2)$$

де $P_{дв}$ – рушійний тиск природної циркуляції, кПа;

ΣP - сумарний гідравлічний опір контуру природної циркуляції, кПа.

У разі виконання рівності (2) забезпечується постійний процес ПЦ системи DHRS.

При розрахунках було прийнято припущення, що тепло залишкових енерговиділень активної зони повністю відводиться через парогенератор. Таким чином, розрахунок був спрощений до розрахунку контуру, що включає парогенератор і ТОАР.

У процесі розрахунку враховувалося:

- теплова потужність реактора;
- коефіцієнт місцевих опорів всіх елементів;
- температури на вході/виході парогенератор (при прийнятті умови, описаної вище, температуру можна прийняти рівною на вході/виході з активної зони);
- температура на вході/виході із ТОАР;
- кількість поворотів та вигинів трубопроводу;
- тиск у контурі;
- площа прохідного перерізу парогенератора; площа прохідного перерізу ТОАР;
- різниця висот між гарячим та холодним джерелами;
- висота (довжина) холодного джерела;
- висота (довжина) гарячого джерела;
- діаметр сполучних труб;
- довжина сполучних труб;
- тиск у басейні;
- температура у басейні;

Основні розрахункові залежності з оцінки умов виникнення ПЦ взято по [190].

Розрахунок рушійного напору ПЦ проводиться з використанням наведеної нижче методичної основи.

Температура на вході в гаряче джерело (парогенератор):

$$t_{1ПГ} = t_{\text{вих.ПГ}} - \left(\frac{Qt}{Cp \cdot G_{\text{нач.}}} \right), \quad (3)$$

де $t_{\text{вих.ПГ}}$ - температура на виході з парогенератора, $^{\circ}\text{C}$;

Qt - потужність теплова, кВт;

$G_{\text{поч}}$ - початкове значення витрати, кг / с.

Розрахунок теплофізичних властивостей води та водяної пари здійснюється з використанням прикладної програми WaterSteamPro [195]. Далі, в розрахункових формулах, дана функція позначена як wsp із зазначенням яких величин йде розрахунок властивостей.

Густина теплоносія у гарячому джерелі:

$$\rho = 1/wsp(\bar{P}; \bar{t}_{ПГ}), \quad (4)$$

де \bar{P} - середній тиск у контурі, Па;

$\bar{t}_{ПГ}$ - середня температура в гарячому джерелі, $^{\circ}\text{F}$.

Температура на виході з гарячого джерела дорівнює температурі на вході холодне джерело.

Температура на виході з холодного джерела дорівнює температурі на вході до гарячого.

Рушійний тиск природної циркуляції:

$$P_{\text{дв}} = \rho \cdot g \cdot dl, \quad (5)$$

Де ρ – густина теплоносія, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g - прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;

$$g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2$$

dl - різниця висот між гарячим і холодним джерелами, м.

Розрахунок гідравлічного опору гарячого джерела (парогенератор).

Коефіцієнт кінематичної в'язкості:

$$\nu = wsp(\bar{P}; \bar{t}_{ПГ}), \quad (6)$$

де \bar{P} - середній тиск у контурі, Па;

$\bar{t}_{\text{ПГ}}$ - середня температура в гарячому джерелі, °F.

Питомий об'єм середовища:

$$v = wsp(\bar{P}; \bar{t}_{\text{ПГ}}), \quad (7)$$

де \bar{P} - середній тиск у контурі, Па;

$\bar{t}_{\text{ПГ}}$ - середня температура в гарячому джерелі, 0F.

Швидкість теплоносія у гарячому джерелі:

$$W_{\Gamma} = \frac{G \cdot v}{f_{\text{гор}}}, \quad (8)$$

де G – значення витрати, кг/с;

v - питомий об'єм середовища, м³/кг;

$f_{\text{гор}}$ - прохідний переріз гарячого джерела, м.

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{W_{\Gamma} \cdot D_{\Gamma}}{\nu}, \quad (9)$$

де W_{Γ} – швидкість теплоносія у гарячому джерелі, м/с;

D_{Γ} - еквівалентний діаметр гарячого джерела, м;

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с.

Коефіцієнт опору тертю:

$$\lambda = \frac{1}{(1,82 \cdot \lg(Re) - 1,64)^2} \quad (10)$$

Гідравлічний опір для гарячого джерела:

$$\Delta P_{\text{ПГ}} = \left(\xi + \lambda \cdot \frac{L_{\text{гор}}}{D_{\Gamma}} \right) \cdot \left(\frac{W_{\Gamma}^2}{2} \right) \cdot \rho \cdot 10^3, \quad (11)$$

де ξ - коефіцієнт місцевих опорів;

λ - коефіцієнт опору тертю;

$L_{\text{гор}}$ - довжина (висота) гарячого джерела, м;

D_{Γ} - еквівалентний діаметр гарячого джерела, м;

W_{Γ} - швидкість середовища в гарячому джерелі, м / с;

ρ - густина середовища в гарячому джерелі, кг/м³.

Коефіцієнти місцевих опорів були взяті з таблиці [197].

Холодне джерело (ТОАР) розраховується за таким же алгоритмом, як і гаряче, тільки параметри гарячого джерела (висота; площа прохідного перерізу; еквівалентний діаметр; середня температура теплоносія) в рівняннях (6) – (11) змінюються на параметри холодного джерела.

Для визначення швидкості в трубах була взята середня температура в холодному та гарячому джерелах. Середня температура в парогенераторі дорівнює середній температурі ТОАР. А відповідний коефіцієнт кінематичної в'язкості дорівнюватиме попереднім.

Алгоритм розрахунку параметрів сполучних труб схожий з алгоритмом для гарячого та холодного джерел. У вихідних даних змінюється лише еквівалентний діаметр. Далі знаходимо питомий об'єм середовища (7), швидкість теплоносія в трубах (8), критерій Рейнольдса (9), коефіцієнт опору тертю (10).

Гідрравлічний опір сполучних труб:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \left(\xi + \lambda \cdot \frac{l}{D_{\text{т}}} \right) \cdot \left(\frac{W_{\text{т}}^2}{2} \right) \cdot \rho \cdot 10^3, \quad (12)$$

де ξ - коефіцієнт місцевих опорів;

λ - коефіцієнт опору тертю;

l - довжина сполучних труб, м;

$D_{\text{т}}$ – еквівалентний діаметр сполучних труб (рівний фізичному діаметру), м;

$W_{\text{т}}$ – швидкість середовища у сполучних трубах, м/с;

ρ - Щільність середовища в сполучних трубах, кг/м³.

Сумарний гідрравлічний опір контуру природної циркуляції:

$$\Sigma P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{тоар}} + \Delta P_{\text{пг}} \quad (13)$$

У цій частині проводимо знаходження наступних параметрів: ентальпії пари та води на виході з гарячого джерела; ентальпію теплоносія на виході з гарячого джерела; тепловміст та температуру на виході з гарячого джерела. Усі параметри знаходимо за допомогою програми WaterSteamPro [195] по тиску на виході з гарячого джерела P_1 та температурі на виході з гарячого джерела $t_{\text{вих.ПГ}}$.

Для гарячого джерела частка потужності, що витрачається на підігрів теплоносія до t_s :

$$N^{\cdot} = G \cdot (i^{\cdot} - i_{\text{ВЫХ}}), \quad (14)$$

де G – значення витрат, кг/с;

i^{\cdot} - ентальпія води, кДж/кг;

$i_{\text{ВЫХ}}$ – ентальпія теплоносія на виході з гарячого джерела, кДж/кг.

Частка потужності, що витрачається для отримання пари:

$$N^{\cdot\cdot} = N - N^{\cdot}, \quad (15)$$

де N - Теплова потужність гарячого джерела, кВт.

Висота гарячого джерела, на якій відбувається підігрів до t_s :

$$H^{\cdot}_{\text{ги}} = H_{\text{ги}} \cdot \left(\frac{N^{\cdot}}{N}\right), \quad (16)$$

де $H_{\text{ги}}$ - Висота гарячого джерела, м.

Знаходимо середню температуру гарячого джерела на ділянці підігріву за температурою теплоносія на вході в гаряче джерело і за температурою насичення.

Знаходимо середню щільність теплоносія на ділянці підігріву за середньою температурою.

Нівелірна втрата тиску на ділянці підігріву:

$$\Delta P_{\text{под.}} = H^{\cdot}_{\text{ги}} \cdot \overline{\rho}_{\text{ги}} \cdot g, \quad (17)$$

де $\overline{\rho}_{\text{ги}}$ - середня густина теплоносія на ділянці підігріву, кг/м³;

g - прискорення вільного падіння, м/с.

Висота гарячого джерела, на якій відбувається кипіння:

$$H^{\cdot\cdot}_{\text{ги}} = H_{\text{ги}} - H^{\cdot}_{\text{ги}} \quad (18)$$

Густина води та пари знаходимо за тиском на виході з гарячого джерела P_1 .

Витратний об'ємний паровміст:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{\rho^{\cdot}}{\rho} \left(\frac{1}{X} - 1\right)}, \quad (19)$$

де $\rho^{\cdot\cdot}$ - густина пари, кг/м³;

ρ^{\cdot} - густина води, кг/м³;

X - паровміст на виході з гарячого джерела (приймаємо).

Швидкість циркуляції:

$$W0 = \frac{G}{(f_{гор} \cdot \rho^{\prime})} \quad , \quad (20)$$

Де: G – значення витрат, кг/с;

$f_{гор}$ - прохідний переріз гарячого джерела, мм.

ρ^{\prime} - густина води, кг/м³.

Критерій Фруда:

$$Fr0 = \frac{W0}{(g \cdot Dг)}, \quad (21)$$

де $Dг$ - еквівалентний діаметр гарячого джерела, м;

$W0$ - швидкість середовища в гарячому джерелі, м/с;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

Коефіцієнт проковзування пари:

$$S = 1 + \frac{0,6+1,5\beta^2}{\sqrt[4]{Fr0}} \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{кр}}\right), \quad (22)$$

де $P_{кр}$ - критичний тиск, на який розрахований контур, МПа.

$$P_{кр} = 34,48 \text{ МПа}$$

Справжній об'ємний вміст теплоносія на виході з ГД:

$$У_{г.и.} = \frac{1}{1 + \frac{1-X}{X} \cdot \frac{\rho^{\prime\prime}}{\rho} \cdot S}, \quad (23)$$

де ρ^{\prime} - густина води, кг/м³;

$\rho^{\prime\prime}$ - густина пари, кг/м³;

X - паровміст на виході з гарячого джерела (приймаємо).

Середній істинний об'ємний вміст у гарячому джерелі:

$$\overline{У_{ги}} = \frac{У_{г.и.}}{2} \quad (24)$$

Середня густина теплоносія на ділянці з кипінням:

$$\overline{\rho^{\prime\prime}_{ги}} = \overline{У_{ги}} \cdot \rho^{\prime\prime} + (1 - \overline{У_{ги}}) \cdot \rho^{\prime}, \quad (25)$$

де ρ^{\prime} - густина води, кг/м³;

$\rho^{\prime\prime}$ - густина пари, кг/м³.

Нівелірна втрата тиску на ділянці гарячого джерела з кипінням розрахована (17), з урахуванням висоти гарячого джерела, на якій відбувається кипіння та середньої густини теплоносія на ділянці з кипінням.

Методична основа розрахунку індивідуальних тягових труб така сама, як і гарячого джерела. Розрахунок проводиться за рівняннями (19)-(25), нівелірна витрата тиску розраховується за (17). У зазначених формулах змінюємо лише висоту тягових труб (приймаємо).

Загальна тягова ділянка розраховується так само, як і індивідуальні тягові труби, змінюємо лише їхню висоту (приймаємо).

Знаючи площу зовнішньої поверхні трубки ТОАР, з формули площі труби, знаходимо висоту ТОАР. Далі знаходимо середню температуру в ТОАР через температуру входу та t_s . По тиску і середній температурі знаходимо середню густину, і (17) знаходимо нівелірні втрати тиску.

Опускна ділянка розраховується так само, як і теплообмінник.

Висота опускної ділянки:

$$H_{ou} = (H_{ги} + H_{тт} + H_{оту}) - H_{тоар} \quad , \quad (26)$$

де $H_{ги}$ – висота гарячого джерела, м;

$H_{тт}$ – висота тягових труб, м;

$H_{оту}$ – висота загальної тягової ділянки, м;

$H_{тоар}$ - висота ТОАР, м

У результаті ми знаходимо рушійний тиск природної циркуляції, за формулою:

$$\Delta P_{дв} = \Sigma(H\rho g)_{оп} - \Sigma(H\rho g)_{под.} = \\ (\Delta P_{роп} + \Delta P_{тоар}) - (\Delta P_{оту} + \Delta P_{тт} + \Delta P_{под} + \Delta P_{ги}) \quad , \quad (27)$$

де $\Delta P_{роп}$ - нівелірні втрати тиску опускної ділянки, кПа;

$\Delta P_{тоар}$ - Нівелірні втрати тиску ТОАР, кПа;

$\Delta P_{оту}$ - нівелірні втрати тиску загальної тягової ділянки, кПа;

$\Delta P_{тт}$ - нівелірні втрати тиску тягових труб, кПа;

$\Delta P_{под}$ - нівелірні втрати тиску ділянки з підігрівом, кПа;

$\Delta P_{ги}$ - нівелірні втрати тиску гарячого джерела на ділянці з кипінням, кПа.

Для гарячого джерела задаємося значенням витрати та коефіцієнта місцевих опорів. Коефіцієнт кінематичної в'язкості розрахований за середнім тиском у

контурі ПЦ та середній температурі у ГД. Швидкість теплоносія розраховується (20), з підстановкою раніше порахованої середньої щільності в ГД.

Критерій Рейнольдса розраховується за (9). Коефіцієнт опору тертю розраховується за (10). Гідравлічний опір на ділянці підігріву розраховується (12), з підстановкою висоти ГД, на якій відбувається підігрів. Коефіцієнт кінематичної в'язкості розрахований за середнім тиском у контурі та середній температурі у гарячому джерелі на ділянці підігріву.

Гідравлічний опір на ділянці з кипінням:

$$\Delta P''_{\text{ги}} = (\Sigma \xi + \lambda_{\text{тр}} \cdot \left(\frac{H''_{\text{ги}}}{D_{\text{г}}}\right)) \cdot \left(\frac{w_0}{2}\right) \cdot (1 + \overline{X}_{\text{ги}} \cdot \Psi \cdot \left(\frac{\rho'}{\rho''}\right) - 1) \cdot 10^{-3} \quad , \quad (28)$$

де $\Sigma \xi$ - сумарне значення місцевих опорів;

$\lambda_{\text{тр}}$ - коефіцієнт опору тертю ГД;

$H''_{\text{ги}}$ - висота ГД, на якій відбувається кипіння, м;

$D_{\text{г}}$ - еквівалентний діаметр ГД, м;

$\overline{X}_{\text{ги}}$ - середній масовий паровміст у ГД;

Ψ - виправлення на двофазність потоку (приймаємо).

Індивідуальні тягові труби розраховуються аналогічно до гарячого джерела. Прохідний переріз з'єднувальних труб розрахований за формулою площі труби.

Коефіцієнт місцевих опорів сполучних труб:

$$\xi_{\text{м}} = (\xi_{\text{изг}} \cdot n_{\text{изг}}) + \xi_{\text{клап}}, \quad (29)$$

де $\xi_{\text{изг}}$ - коефіцієнт місцевого опору вигинів;

$n_{\text{изг}}$ - кількість вигинів;

$\xi_{\text{клап}}$ - коефіцієнт місцевого опору клапанів.

Швидкість теплоносія розраховується (20).

Гідравлічний опір сполучних труб:

$$\Delta P_{\text{сое тр}} = \xi_{\text{м}} \cdot ((W_0^2 \cdot \rho') / (2 \cdot 10^3)) \quad (30)$$

Середня густина у теплообміннику та коефіцієнт кінематичної в'язкості розраховується за середнім тиском у контурі ПЦ та середній температурі у

ТОАР. Швидкість теплоносія, критерій Рейнольдса, коефіцієнт опору тертя, гідравлічний опір ТОАР розраховуються (8) - (10).

Гідравлічний опір теплообмінника:

$$\Delta P_{то} = (\Sigma \xi + \lambda_{тр} \cdot (H_{тоар} / D_{тоар})) * ((W_0 \cdot \overline{\rho_{тоар}}) / 2) \cdot 10^{-3} \quad (31)$$

Сумарний Гідравлічний опір контуру ПЦ:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P'_{ги} + \Delta P''_{ги} + \Delta P_{тт} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{то}, \quad (32)$$

де $\Delta P'_{ги}$ - гідравлічний опір на ділянці підігріву, кПа;

$\Delta P''_{ги}$ - гідравлічний опір на ділянці з кипінням, кПа;

$\Delta P_{тт}$ - гідравлічний опір тягових труб, кПа;

$\Delta P_{ст}$ - гідравлічний опір сполучних труб, кПа;

$\Delta P_{то}$ - гідравлічний опір теплообмінника, кПа.

Вихідні дані для розрахункового аналізу взяті з відкритих джерел [192], [196] та зведені до таблиць 1-3.

Таблиця 1 - Вихідні дані (загальні)

Найменування величини:	Позначення	Значення	Розмірність
Початкове значення витрати	G	37,5	кг/с
Теплова потужність парогенератора	N	9220	кВт
Різниця висот між ТОАР та парогенератора	dl	2,5	м
Температура на виході з парогенератора	$t_{выхГИ}$	276,85	$^{\circ}\text{C}$
Середній тиск середовища у контурі природної циркуляції	P	14,48	МПа
Площа прохідного перерізу парогенератора	$f_{гор}$	0,92	м^2
Висота (довжина) парогенератора	НГД	7,7	м
Площа прохідного перерізу ТОАР	$f_{ТОАР}$	0,24	м^2

Продовження таблиці 1.

Висота (довжина) ТОАР	Нтоар	2,86	м
Діаметр сполучних труб	d _т	0,15	м
Довжина сполучних труб	l	5	м
Коефіцієнт місцевого опору при вході в парогенератори	$\xi_{\text{ГИ}}$	3	
Коефіцієнт місцевого опору під час входу до ТОАР	$\xi_{\text{ТОАР}}$	3	
Коефіцієнт місцевого опору поворотів та вигинів сполучних труб	$\xi_{\text{Т}}$	1,7	
Коефіцієнт місцевого опору запірних клапанів	$\xi_{\text{К}}$	2,1	
Кількість поворотів та вигинів сполучних труб	n _{ИЗГ}	13	
Кількість послідовно розташованих запірних клапанів	n	1	

Таблиця 2 - Розрахункові дані щодо DHRS

Найменування величини	Позначення	Значення	Розмірність
Внутрішній тиск	Рівне	144,79	бар
Температура	t ₁	343,33	°C
Кількість конденсаторів		2	
Загальна кількість трубок конденсаторів		80	шт.
Зовнішній діаметр стінки трубки	d _{нар}	33,4	мм
Товщина стінки трубки	b	2,77	мм
Площа зовнішньої поверхні трубки у конденсаторі	f _{внеш}	23,99	м ²

Таблиця 3 – Теплогідрравлічні умови роботи парогенератора при повному навантаженні

Найменування величини	Позначення	Значення	Розмірність
Повна теплопередача	Q _п	159,13	МВт

Продовження таблиці 3.

Тиск на виході з ПГ	$P_{\text{вихПГ}}$	34,48	бар
Температура на виході із ПГ	$t_{\text{вихПГ}}$	306,89	$^{\circ}\text{C}$
Температура на вході до ПГ	$t_{\text{вхПГ}}$	148,72	$^{\circ}\text{C}$
Витрата ПГ	$G_{\text{ПГ}}$	326,57	$\text{м}^3/\text{с}$

Проведено варіаційні розрахунки умов виникнення ПЦ при однофазному та двофазному стані теплоносія у контурі охолодження DHRS MMP. Результати представлені на рисунках 3, 4.

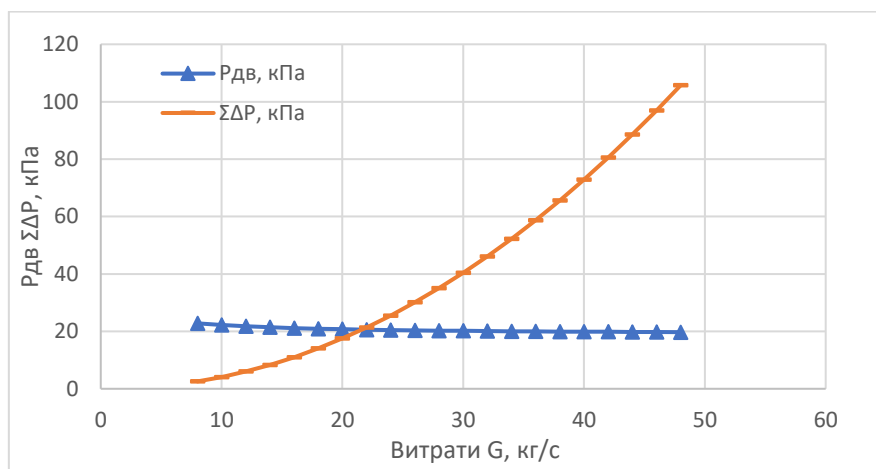


Рисунок 3 - Графік залежності рушійного напору від витрати та сумарного гідравлічного опору від витрати при однофазному (воді) русі теплоносія

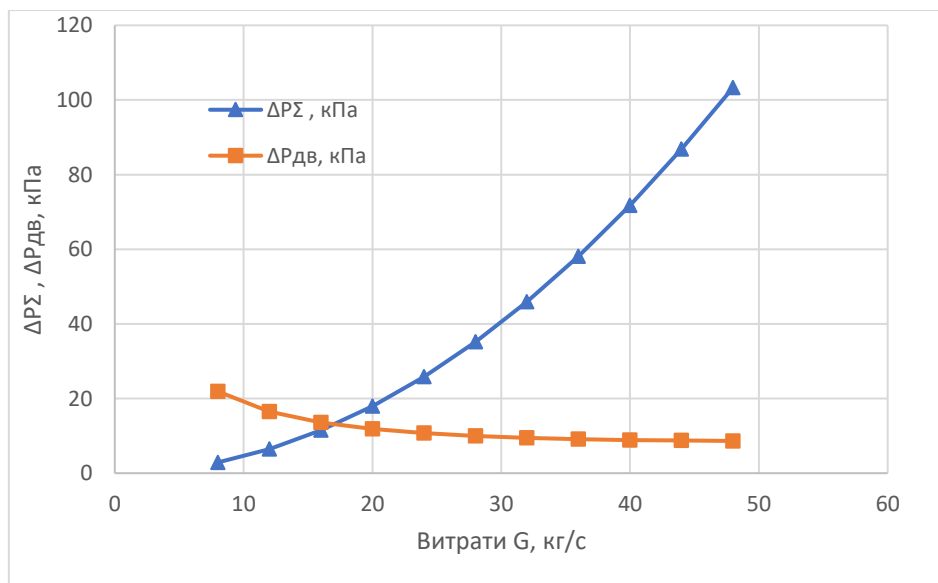


Рисунок 4 - Графік залежності рушійного напору від витрати та сумарного гідравлічного опору від витрати при двофазному русі теплоносія

При однофазному перебігу теплоносія (вода) криві перетинаються при значенні витрати 22 кг/с. Саме при цьому значення виконується рівність (2). З графіків видно, що значення рушійного напору ($P_{дв}$) падає у міру збільшення витрати, це пов'язано з тим, що щільність теплоносія з часом зменшується, як наслідок підвищення значення температури зі збільшенням значення витрати. Збільшення температури обумовлене зменшенням величини тепловідводу за рахунок поступового збільшення швидкості руху теплоносія. Значення сумарного гідравлічного опору контуру ПЦ ($\Sigma\Delta P$) зростають у міру збільшення витрати, оскільки збільшується швидкість і як наслідок зростають сили тертя поверхонь трубопроводів та теплообмінників (збільшуючи їх гідравлічний опір).

При двофазному перебігу теплоносія (вода) криві перетинаються при значенні витрати 18 кг/с., при цьому виконується рівність (2).

В основі природної циркуляції лежить загальний фізичний закон всесвітнього тяжіння, з якого випливає, що чим більша маса об'єкта, тим сильніше на нього діє гравітаційна сила. Зміна рівня залишкових енерговиділень впливає безпосередньо на температуру при вході в гаряче джерело (парогенератор) ММР, сприяючи тим самим зміні інтенсивності процесу.

Провівши розрахунки і оцінивши результати, можна зробити висновок, що однофазність середовища (вода) краще впливає на процес природної циркуляції за рахунок кращого тепловідводу з поверхні теплообміну. На це впливає безпосередньо густина середовища, а також однорідність, оскільки тепловідвід паром проходить набагато гірше, ніж водою.

З проведеного дослідження, зокрема, випливає, що грамотне компонування обладнання та різниця висот забезпечує стійкий процес ПЦ без застосування насосів та додаткової енергії для перекачування теплоносія. ПЦ – майбутнє систем безпеки ядерних реакторів, вплив людського фактору в ній зведено до мінімуму, що є одним із основоположних принципів безпеки ядерних енергоустановок.

5.2 Calculation modelling thermophysical characteristics of fuel rods

Operating conditions were analyzed, thermophysical characteristics were calculated as applied to VVER-1000 fuel rods in four-year cycle for unified core. Models for calculating gas release, pressure of gases within fuel rod cladding, fuel swelling and thermal conductivity, fuel-cladding gap conductance are briefly described. The thermophysical condition of fuels in a reactor core is one of the main factors that determine their serviceability. The stress-strained condition of fuel claddings under design operating conditions is closely related to fuel rod temperature, swelling, gas release from fuel pellets and the mode in which they change during the cycle and transients. Aside from this, those parameters are an independent goal of studies since their ultimate values are governed by the system of design criteria.

Key words: reactor, calculation, thermophysical properties, thermal conductivity, gas release, fuel rod, VVER-1000.

Introduction

Determination of fuel rod thermophysical condition is an important aspect of modelling behaviour and predicting fuel rod serviceability. Since most of the inter-fuel rod processes are substantially interrelated, the parameters of the thermophysical condition can be only calculated in the framework on the common code that integrally takes into account all main aspects of fuel rod behaviour, its mechanical condition included.

The thermophysical condition of fuels in a reactor core is one of the main factors that determine their serviceability. The stress-strained condition of fuel claddings under design operating conditions is closely related to fuel rod temperature, swelling, gas release from fuel pellets and the mode in which they change during the cycle and transients. Aside from this, those parameters are an independent goal of studies since their ultimate values are governed by the system of design criteria.

The design has to take into consideration all the main processes proceeding in fuel rods and demonstrate that they are unable to upset its serviceability. To corroborate the

fulfillment of those requirements, four groups of design criteria are applied, namely, strength, strain, thermal physics and corrosion.

Material and Methods

Prediction of thermophysical parameters of a fuel rod is primarily based on the adequately determined temperature fields of fuel. In the START-3 code the temperature fields are found via solving the unsteady-state equation of thermal conductivity for a cylinder having internal heat sources. The solution of the problem in this statement is not technically complicated in itself; the important factors for the results to be credible are heat transfer via fuel-cladding gap, fuel pellet properties and their changes under irradiation. The highly important process is also a fission gas product release from fuel. The boundary conditions (temperature of cladding outer surface) are either specified as initial data or determined using a built-in block of a thermal hydraulics calculation of a channel.

The START-3 code participated in the international programme FUMEX [198] and showed itself one of the most credible code among the 19 participated codes. Nonetheless, the code development goes on, also as applied to thermophysical models.

The fuel rod thermophysical characteristics were computer modelled based on neutron-physics characteristics of 4-year fuel cycle with extra-charged 48 fuel assemblies (FAs) of which 30 FAs are in 3 year and 18 FAs are in 4 year operating cycles [199-202].

In this fuel cycle of operation at the power effect of reactivity the following burn-up values are reached :

- discharged fuel assembly averaged one – 43.3 MW.day/kgU;
- maximal for FA – 45.8 MW.day/kgU;
- maximal for fuel rod – 54.0 MW.day/kgU;
- for fuel rod pellet – 59.4 MW.day/kgU.

With the account for the on power operation, the cycle time is 297...301 effective days.

The above initial data were used with the needed conditions of conservatism.

The specific loads were assumed with the account for the margin factor:

$$Q_0 = q_1 \cdot k_{\text{eng}} \cdot k_N,$$

where q_1 is LHGR from neutron physics characteristics (NPC);

k_{eng} is engineering margin factor, 1.16;

k_N is coefficient of error in determining and maintaining the power, 1.04.

Burn-ups were established via extra-multiplying design values of NPC by margin factors that take into account the uncertainty of their calculations (table 1) [199].

Table 1

Margin Factors for Burn-up

Element	Fuel burn-up from NPC, MW.day/kgU	Margin factors (1 st periphery row/2 nd periphery row/the rest array of fuel rods)	Calculated burn-up of fuel, MW.day/kgU
FA	45.8	1.05	48.0
Fuel rod	54.0	1.12/1.08/1.07	60.0/58.0/58.0
Fuel pellets	59.4	1.15/1.11/1.08	68.0/66.0/64.0

Thus, with the aim of fuel rod validation at design burn-up, the calculations were implemented for higher values corresponding to the assumed margin factors .

The basic specific features of setting up the chart of the steady charge are:

- 30 of 48 fresh fuel assemblies are loaded into the core centre, the other 18 are at its periphery;
- the remaining vacant locations at the periphery are taken by fuel assemblies after four and two years of operation;
- 30 of 48 discharged fuel assemblies have operated for 3 cycles and 18 – for 4 cycles.

The thermophysical characteristics were predicted using as an example fuel rods of the highest burn-up fuel assembly four year irradiated under steady operating conditions.

To have the full range of the thermophysical parameters of fuel rods within fuel assemblies, consideration was given to fuel rods №№ 312 and 255 that are in the nearest position to the core center and have basic and profiled enrichment as well as to fuel rods №№ 282 and 226 most distant from the core center and to fuel rod № 6 located in the fuel assembly center (figure 1).

The thermophysical characteristics of fuels were predicted using the START-3 code [203].

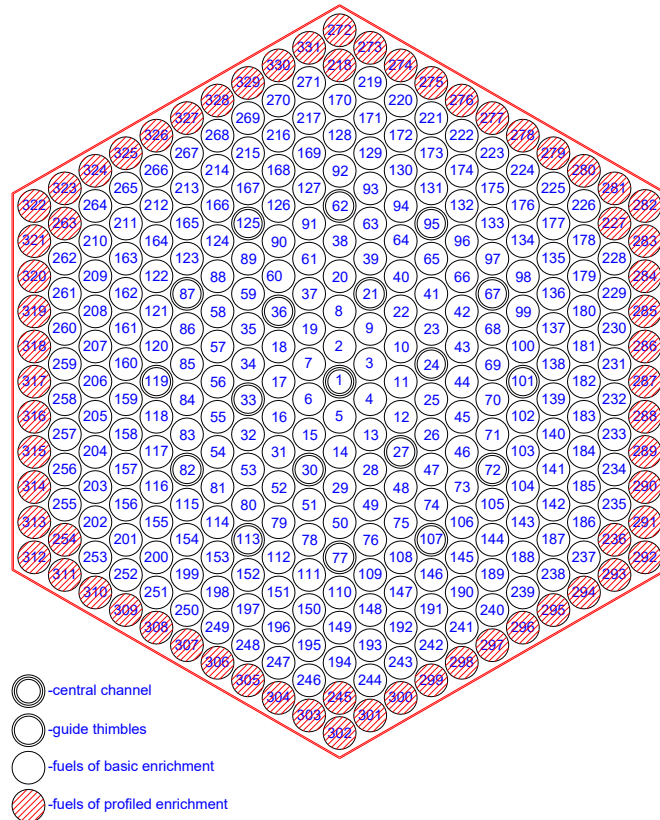


Fig. 1 Schematic of FA component arrangement.

Results and Discussion

Acceptance criteria

The following acceptance criteria are applied for the validation of the thermophysical reliability of fuel rods:

TC1 Ultimate temperature of fuel

The value of the fuel temperature is limited by the temperature of UO_2 melting:

$$[T] = T_{melt}$$

The temperature of pellet melting (T_{melt}) lowers down with fuel burn-up.

$$T_{melt} = 3113 - 3.2 \cdot B, K$$

B is burn-up, MW.day/kgU.

The standard margin factor for this criterion is established to be $[K_{TC1}] = 1.1$ in view of the conservatism of the applied calculation approaches.

TC2 Ultimate gas pressure within a fuel rod

The pressure of gases within a fuel rod must not exceed the operating pressure of the coolant under normal operating conditions (NOC) and off-normal operating conditions (ONOC):

$$[P_g] = P_c$$

P_c – pressure of coolant.

The standard margin factor for this criterion is established to be $[K_{TC2}] = 1.1$.

Provision of calculation conservatism

The calculations are implemented using some conservative assumptions [199]:

- initial data on specific loads of fuels are given with account for uncertainty of their calculation;
- conservatively low properties of heat transport in a fuel rod (coefficient of heat transfer in a gap, thermal conductivity of fuel);
- conservative choice of fuel rod parameters to calculate temperatures (maximal fuel-cladding gap within tolerances, minimal fuel density, maximal fuel re-sintering);
- conservative choice of fuel rod parameters to calculate gas release (minimal fuel density, maximal fuel re-sintering, minimal grain size of fuel within tolerances);
- conservatism of fuel burn-up.

The input data for calculation that provide the necessary conservatism are listed in table 2 [199].

Table 2

Input Data for Calculation

Data	Range in conformity to specs	Assumed value	Notes
Fuel density, g/cm ³	10.4-10.7	10.4	Minimal value in tolerance range
Grain size of fuel, μm	8-20	8	Minimal value in tolerance range
Re-sintering, %	≤ 0.4	0.4	Maximally provided
Inner diameter of cladding, mm	$7.73^{+0.06}$	7.79^*	Maximal value in tolerance range
Inner diameter of fuel, mm	$1.5^{+0.3}$	1.5	Minimal value in tolerance range
Outer diameter of fuel pellet, mm	$7.57^{-0.03}$	7.54^*	Minimal value in tolerance range
* The averaged value of this parameter is used to calculate gas release and internal pressure of fuel rods.			

Calculation of maximal temperatures of fuel

The maximal temperature of fuel was calculated to check the fulfillment of the design criterion TC1.

Figure 2 gives the values of calculated LHGR in fuel rods with account for margin factors.

Figure 3 shows variations in temperatures of the fuel center for all the studied fuel rods of FA vs burn-up.

The plot presents the temperatures in the fuel center of the calculated fuel rods along the height and in the process of burn-up.

The calculation demonstrated that the maximal fuel temperature is reached in fuel rod No. 282 of the 4-year FA when relocated from the periphery to the core center and is equal to 1567°C.

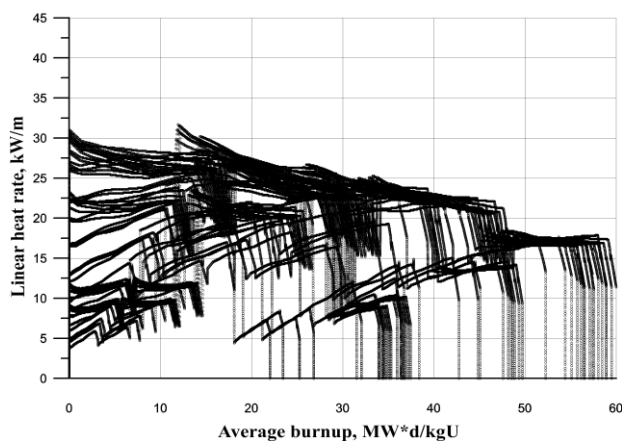


Fig. 2. Linear heat generation rate vs burn-up.

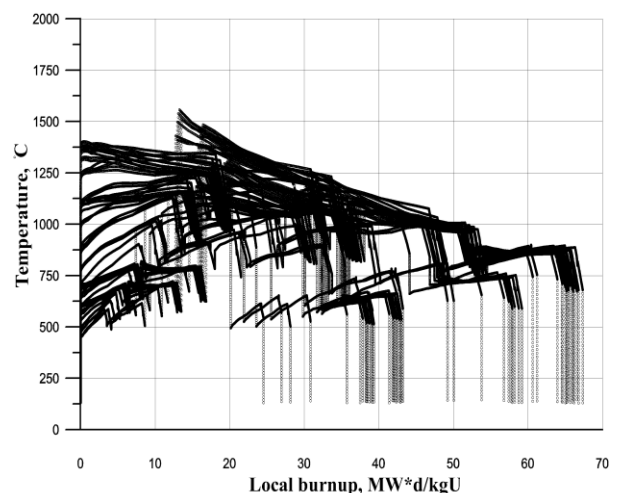


Fig. 3. Temperature in the center of fuel vs burn-up.

Calculation of fission gas release and pressure within fuel rod

The conservative calculations of FGR by fuel under the cladding evidenced the maximal gas release at the end of the cycle in the highest burn-up fuel rod No. 312 of the 4-year cycle fuel assembly that is 7.62% [199]. Figure 4 shows the calculated gas release in fuel rods against their average burn-up.

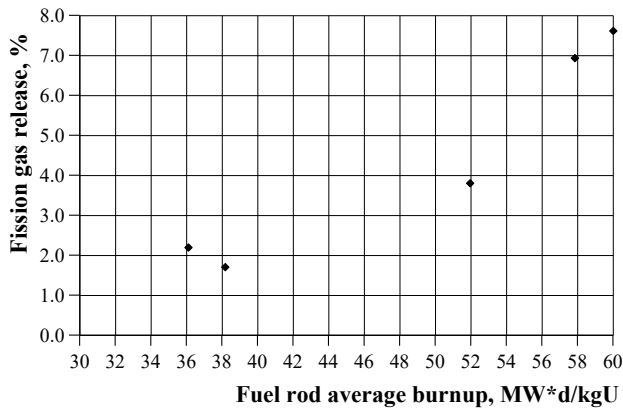


Fig. 4. Gas release in fuel rods of 4 year cycle fuel assembly.

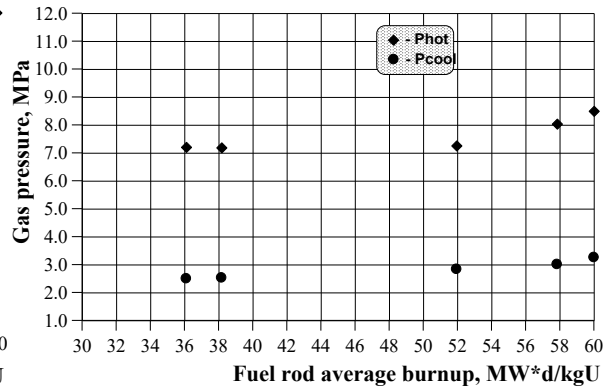


Fig. 5. Gas pressure in fuel rods of 4-year cycle fuel assembly.

The pressure within the fuel rods of the symmetry sector fuel assemblies at the end of the cycle in “cold” and “hot” states is presented in figure 5. The maximal pressure in the “hot” state is demonstrated by fuel rod No. 312 and is 8.5 MPa. The minimal margin factor is $K_{TC2} = 1.84$.

Figures 6, 7 and 8 are plots illustrating the dynamics of variations in gas pressure and relative gas release in fuel rods №№ 312, 6 and 282 of the 4-year cycle fuel assembly [199].

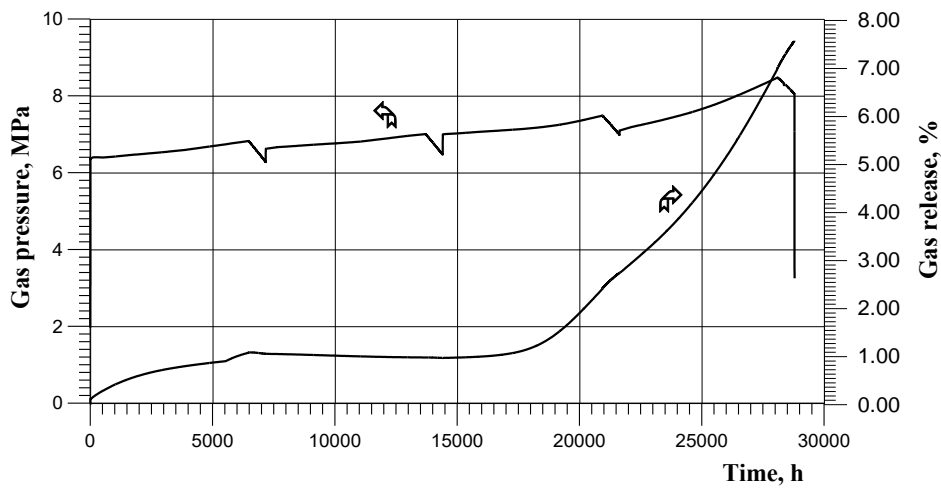


Fig. 6. Gas release and pressure in fuel rod No. 312 of 4-year cycle fuel assembly per cycle.

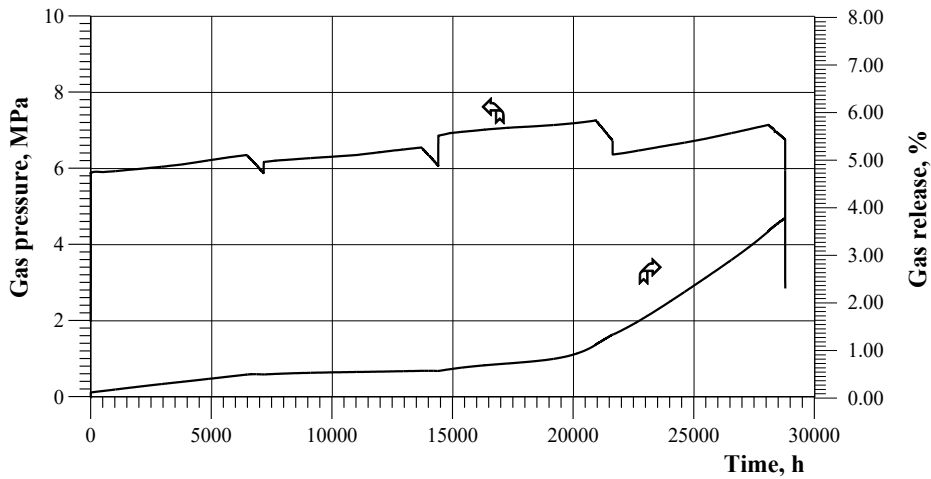


Fig. 7. Gas release and pressure in fuel rod No.6 of 4-year cycle fuel assembly per cycle.

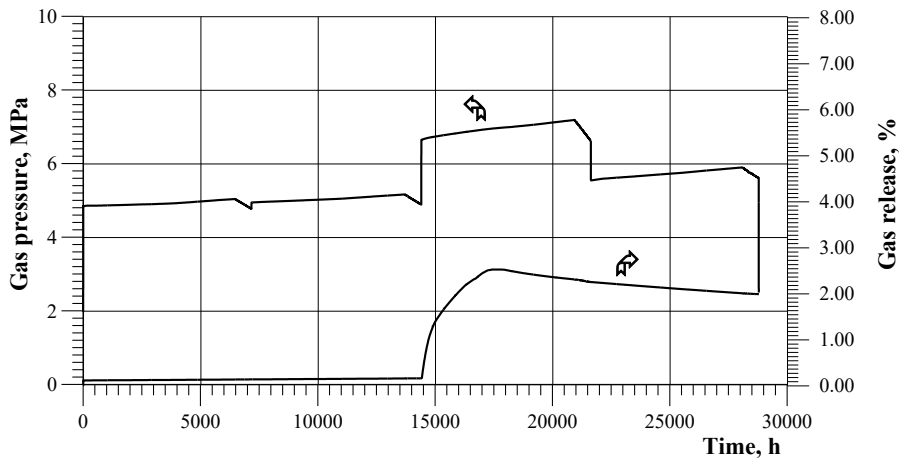
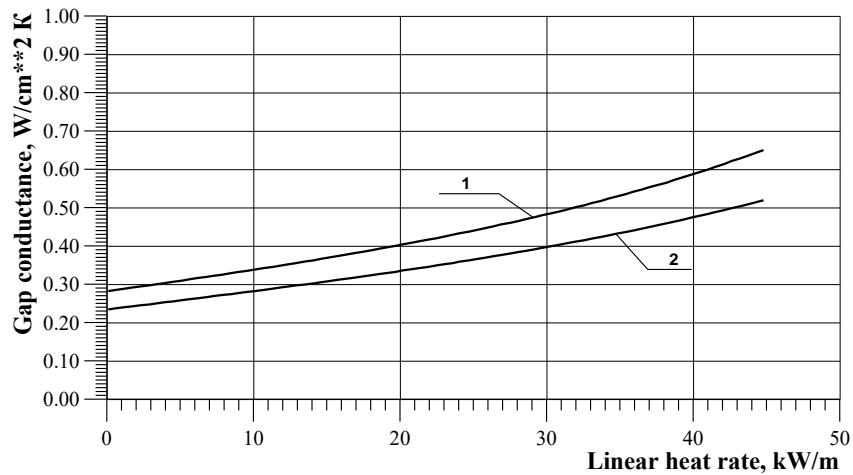


Fig. 8. Gas release and pressure in fuel rod No.282 of 4-year cycle fuel assembly per cycle.

Calculation of gap thermal conductivity in VVER-1000 fuel rods

The coefficient of heat transfer from fuel to cladding was calculated for the highest load fuel rod of the 4-year cycle fuel assembly.

Figure 9 illustrates variations in the conductance of the fuel-cladding gap vs LHGR early in the cycle at the moment of the maximal irradiation effected resintering of fuel.



1 – Mean initial fuel-cladding gap

2 - Maximal initial fuel-cladding gap

Fig. 9. Conductance of gap vs LHGR early in cycle.

Figure 10 shows variations in the gap conductance for the highest heat density section of a fuel rod per cycle.

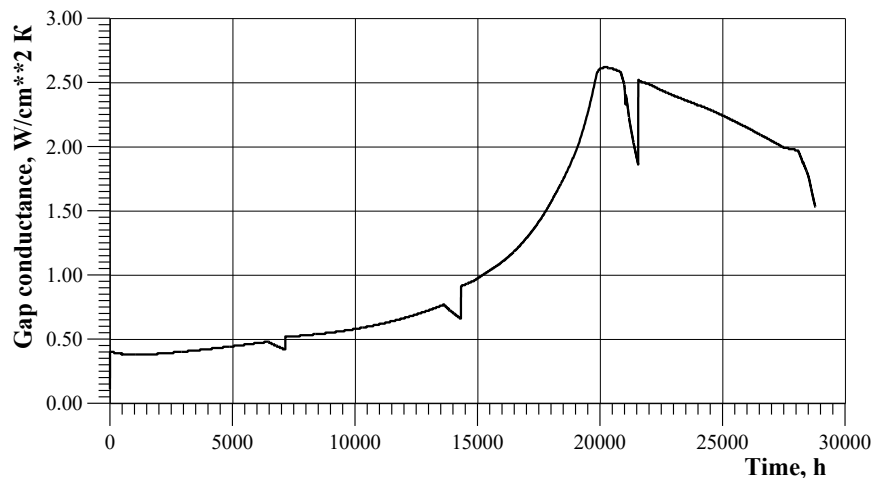


Fig. 10. Variation in gap conductance per cycle.

The calculations were implemented for the maximal tolerable initial gap between fuel and cladding. A decrease in the gap conductance early in the cycle is explained by fuel resintering. After that, the dynamics of changes in the heat transfer from fuel to cladding is governed by varying levels of thermal loads, gap filling with the resultant contact between fuel and cladding, and dilution of the filler gas with fission gases.

Conclusion

The paper presents the basic principles of the analysis of the operating thermophysical characteristics of VVER-1000 fuel rods using the START-3 code.

The presented results of computer modelling thermophysical characteristics of VVER-1000 4-year cycle fuel rods demonstrate that:

1. the maximal fuel temperature in fuel rods does not exceed 1567°C which is below the melting temperature of UO_2 at the margin factor $K_{\text{TC1}}=1.66$;
2. the maximal gas release in fuel rods is 7.62%;
3. the maximal pressure within fuel rods at the cycle end in “hot” state is 8.5 MPa at the margin factor for TC2 criterion $K_{\text{TC2}} = 1.84$.

5.3 Analysis of influence of constructive features of pipeline on measurement result of flow rate by means of pressure differential devices

Вимірювання витрати природного газу у газотранспортних підприємствах України здійснюють за допомогою витратомірів змінного перепаду тиску на основі стандартних звужувальних пристроїв. Необхідною умовою досягнення високої точності обліку природного газу за допомогою цих витратомірів є наявність їх якісного нормативного забезпечення [204, 205].

Оскільки до газотранспортної системи України входять магістральні газопроводи, якими природний газ транспортують до європейських держав, то нормативні документи нашої держави щодо обліку природного газу повинні бути гармонізовані із нормативними документами цих держав. Враховуючи вказані вимоги, а також з метою усунення цілого ряду недоліків старих документів щодо вимірювання витрати та кількості плинних середовищ, за участю Національного університету “Львівська політехніка” у 2005 році розроблено комплекс міждержавних стандартів ГОСТ 8.586.1-5:2005. Вказані стандарти введені в дію і чинні в Україні з 1 квітня 2010 р. наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики № 486 від 30.12.2009, як Національні стандарти ДСТУ ГОСТ 8.586.1–5:2009 «Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв» [206-210].

Розроблені стандарти базуються на міжнародних стандартах ISO 5167:2003 [211-215], вони максимально наближені до цих стандартів, а відмінності полягають лише у розширенні застосування методу вимірювання, зокрема, для вітчизняних умов застосування. Повне впровадження стандартів ДСТУ ГОСТ 8.586.1–5:2009 дає можливість підвищити точність обліку природного газу та зменшити наявні в газотранспортних та газорозподільних мережах дисбаланси об’єму газу. Однак залишається недослідженим вплив відхилень окремих геометричних характеристик трубопроводів і витратомірів від значень, що визначені вимогами ДСТУ ГОСТ 8.586.1–5:2009. Отже, актуальним є виконання досліджень щодо визначення впливу геометричних характеристик

вимірювальних трубопроводів і діафрагм на вимірюване значення витрати та об'єму газу. Зокрема, потрібно виконати дослідження впливу конструктивних особливостей трубопроводу на вимірюване значення витрати, а саме виступів, заглиблень, прокладок та конусних секцій трубопроводу.

Будь-які конструктивні елементи, що виступають у внутрішню порожнину трубопроводу (прокладки, з'єднувальні кільця), можуть бути причиною виникнення збурень потоку і, відповідно, додаткових похибок, спричинених цими збуреннями потоку.

Слід зазначити, що вимірювання внутрішнього діаметра на кінцях кожної секції вимірювального трубопроводу (ВТ) не є достатнім, щоб забезпечити відповідність вимірювального трубопроводу вимогам ДСТУ ГОСТ 8.586. Невдале з'єднання секцій може бути причиною виникнення зміщень та уступів. Для виконання вимог ISO 5167:2 в [215] рекомендується застосовувати секції, з'єднання яких мають елементи самоцентрування. Для цього можуть бути застосовані шпунтові фланці, фланці з виступом та впадиною, центрувальні штифти або втулки і виїмки.

В ISO/TR 12767:2007 [216] якісно розглянуто ефекти, що виникають у випадку, коли внутрішній діаметр з'єднувального кільця або прокладок менший від діаметра труби. За умови що такі елементи розміщені на ділянці ВТ до звужуючого пристрою (ЗП), можуть виникати дуже великі похибки вимірювання витрати. Величина і знак похибки вимірювання витрати потоку залежать від комбінації декількох факторів, зокрема, товщини кільця (прокладки), висоти його виступаючої частини, його положення по відношенню до ЗП і отворів відбору тиску, а також від шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу перед ЗП.

Вивченню впливу виступів та виїмок у порожнину трубопроводу присвячена робота [217]. Виїмки або виступи поблизу місця встановлення діафрагми можуть виникати тоді, коли діафрагма та пов'язане з нею обладнання монтується за допомогою з'єднувачів кільцевого типу, які використовують для експлуатації при високому тиску, внаслідок невідповідності внутрішнього

діаметру фланців і труби, внаслідок застосування ущільнюючих кілець на певних типах арматури, діафрагми тощо.

Виїмку зазвичай не вважають впливовим фактором, який формує суттєві збурення потоку [217]. Навпаки, наявність виступів у внутрішній порожнині трубопроводу можуть бути причиною суттєвих похибок вимірювання витрати.

Сучасні стандарти [206-211, 212-214] не мають чітких вказівок про допустимі виїмки або виступи. І американські [218, 219], і міжнародні [212-214] норми вказують, що слід застосовувати прокладки, внутрішній діаметр яких рівний внутрішньому діаметру трубопроводу D , або більший від нього (прокладка розташована на рівні поверхні ВТ або нижче від неї). Стандарти США [218, 219] дозволяють деяку виїмку в безпосередній близькості від діафрагми для обох фланців і ділянок труб (на відстані $2,5D$ вгору за течією, та $8D$ вниз за течією). Виїмка менше 6,4 мм (1/4 дюйма) дозволена для всіх значень відносного діаметра отвору діафрагми $\beta=d/D$ (де d – діаметр отвору звужувального пристрою в умовах експлуатації). Якщо виїмка є більша, ніж 6,4 мм (1/4 дюйма), то вона допускається тільки для наступних умов: $\beta \leq 0,3, D=50$ мм; $\beta \leq 0,4, D=75$ мм; і $\beta \leq 0,5, D=100$ мм.

Міжнародний стандарт [212], а відповідно і національний стандарт [207], містять вимоги стосовно діаметра та ширини камери усереднення для діафрагм з кутовим способом відбору тиску. Ці стандарти містять умову, яка визначає межі відхилення діаметра камери усереднення та її ширини (тобто геометричні характеристики виїмки в безпосередній близькості до діафрагми). Однак немає жодної інформації щодо діафрагм з фланцевим способом відбору тиску.

Відповідно в роботі [217] досліджено вплив заглиблень або виступів у різних місцях ВТ вздовж невеликої відстані в околі ЗП. Розглянуто чотири ділянки ВТ, де часто виникають виступи (виїмки): в безпосередній близькості до діафрагми, в безпосередній близькості після діафрагми, на відстані двох діаметрів до діафрагми (вище за потоком), на відстані двох діаметрів після діафрагми (нижче за потоком).

За результатами досліджень, викладених в [217], зроблено такі висновки:

1. У трьох з вивчених інсталяцій, наявність виступу викликало збільшення коефіцієнта витікання C_d . Це значення збільшувалось як із зростанням висоти виступу, так і зростанням β . Єдиний виняток становлять виступи на відстані $2D$ нижче за течією, де не було виявлено ніякого ефекту.

2. Виступи на відстані $2D$ перед діафрагмою можуть мати істотний вплив на коефіцієнт витікання C_d . Варіація похибки аналогічна випадку із виступами безпосередньо перед діафрагмою, однак, величини менші. Наприклад, значення похибки C_d при виступах $6,3\%D$ або менше знаходяться в межах похибки повторюваності даних для $\beta=0,3$; в той час як для $\beta=0,5$, виступ повинен перебувати на рівні або нижче $1,7\%D$; і для $\beta=0,7$, виступ не повинен перевищувати $0,9\%D$, щоб досягти цієї точності.

3. Як і очікувалося, виступи безпосередньо перед діафрагмою викликають найбільш значні відхилення коефіцієнта витікання C_d в залежності від розміру виступу і відносного діаметра β діафрагми. Для $\beta=0,3$, похибки були незначними для виступів висотою менше $5,8\%D$, але були вище, ніж $1,6\%$ при висоті виступу рівному $12,5\%D$. При $\beta=0,5$ вплив виступів є значно більшим і повинен бути врахованим вже при висоті виступу більше $1,0\%D$. Зокрема, відхилення коефіцієнта витікання C_d досягають значення $11,5\%$ при висоті виступу рівній $12,5\%D$. Для $\beta=0,7$ вплив виступів є ще більшим і виступів слід уникати взагалі або забезпечувати висоту нижче $0,38\%D$, щоб зберегти відхилення коефіцієнта витікання в межах його невизначеності. Отже, для $\beta=0,3$ і $0,5$ висота виступів повинна бути нижчою $5,8\%D$ і $1\%D$, відповідно, щоб зберегти відхилення коефіцієнта витікання в межах його невизначеності.

4. Виступи безпосередньо після діафрагми мали набагато менший ефект, ніж виступи перед нею. Насправді, для $\beta=0,3$ і $0,5$, ефект був незначним навіть при найвищих виступах.

Для $\beta=0,7$, відхилення коефіцієнта витікання були меншими $0,5\%$ при виступі $6,25\%D$ і але значення відхилення коефіцієнта витікання вищі 5% були отримані з виступом $12,5\%D$. На підставі даних [217] можна зробити висновок, що виступ повинен бути нижче $3\%D$, щоб досягати відхилення в межах

відтворюваності даних для цього β .

5. При наявності виступу на віддалі $2D$ вниз по потоку, при висоті виступу $12,5\%D$ істотного впливу на значення коефіцієнта витікання не виявлено.

6. Як і слід було очікувати, виїмки мають істотно нижчий вплив, аніж виступи. Досліджуючи розміщення виїмки на віддалі $2D$ перед діафрагмою (вище по потоку) встановлено, що:

- для $\beta=0,3$ і $0,5$, відхилення є незначними,

- для $\beta=0,7$ отримано відхилення коефіцієнта витікання $0,32\%$ і $0,22\%$ для ВТ з виїмками глибиною $6,25\%D$ і $12,5\%D$ відповідно. Оскільки не існує ніякого логічного пояснення більш високого відхилення для меншої виїмки, ці результати вимагають перевірки.

7. Подібно до результатів п.6, для виїмок розміщених на відстані $2D$ вниз за потоком (після діафрагми), дані для обох $\beta=0,3$ і $\beta=0,5$ не показали ніякого впливу на коефіцієнт витікання для виїмки до $12,5\%$ від діаметра. Проте, при $\beta=0,7$, відхилення від приблизно $0,8$ до $0,9\%$ були отримані для виїмок глибиною більше $6,25\%$ від діаметра.

8. Безпосередньо після діафрагми, виїмки до $6,25\%D$ не роблять жодного впливу на коефіцієнт витікання для всіх значень відносного діаметра діафрагми, в той час як виїмка глибиною $12,5\%D$ спричинила зниження коефіцієнта витікання (негативне відхилення) на $0,25\%$ для $\beta=0,7$.

9. Для виїмок на відстані $2D$ після діафрагми не виявлено ніякого впливу на коефіцієнт витікання для всіх β .

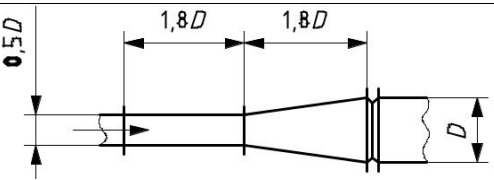
Для дослідження впливу конусних секцій ВТ на значення витрати проаналізовано стандарти ДСТУ ГОСТ 8.586:1-5:2009 [207-209], в яких визначено мінімальні довжини прямолінійних ділянок ВТ між місцевими опорами та ЗП для різних типів місцевих опорів. Зокрема, встановлено вимоги щодо розміщення різких звужень або розширень потоку, конфузоров чи дифузоров.

В ISO/TR 12767:2007 [216] наведено деякі результати досліджень зміни коефіцієнта витікання діафрагми в умовах, коли розміщення конусних секцій ВТ

не відповідає вимогам ДСТУ ГОСТ 8.586:1-5:2009 [207]. Згідно з [216], слід уникати різких розширень трубопроводу в безпосередній близькості від ЗП, так як їх наявність викликає значні додаткові похибки вимірювання витрати. Конусні звуження ВТ також можуть призвести до суттєвих похибок визначення коефіцієнта витікання діафрагми (див. табл. 1).

Таблиця 1

Вплив конусних секцій на коефіцієнт витікання діафрагми [216]

Положення діафрагми	β	Очікувана зміна коефіцієнта витікання, %
а) Безпосередньо нижче за течією від конусної секції, що розширюється		
	0,4 0,7	+ 10 + 50
б) Безпосередньо нижче за течією від конусної частини, що звужується		
	0,4 0,7	- 0,5 - 2
в) Відразу вгору за течією від конусної частини, що звужується		
	0,4 0,7	Від 0 до - 1 + 1

З табл. 1 видно, що безпосередньо перед діафрагмою не рекомендують застосовувати конусну секцію ВТ, яка розширюється в напрямку потоку, оскільки в результаті коефіцієнт витікання може бути збільшений на величину від 10% до 50%. Наявність конусної секції, що звужується та встановлена безпосередньо до або після ЗП, але за умови, що конусність не повинна бути більшою ніж показано на рисунках в табл.1, призводить до зміни коефіцієнта

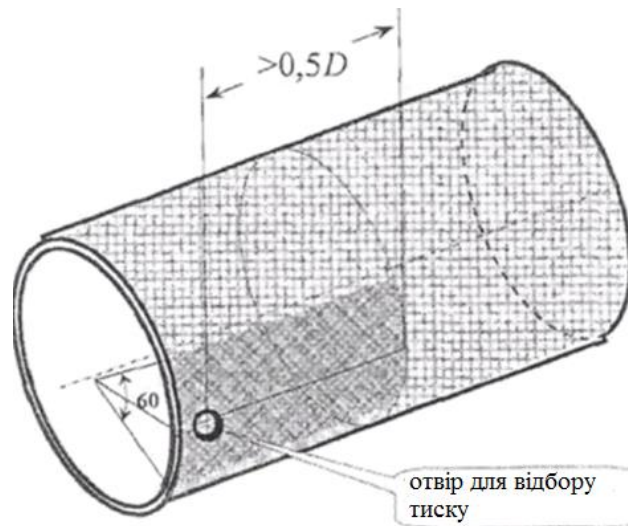
втікання, як правило, менш ніж на 2%.

Для дослідження впливу зварних швів, що виступають у внутрішню порожнину ВТ на вимірюване значення витрати, проаналізовано стандарт ISO/TR 12767:2007 [216], в якому наведено загальний аналіз впливу зварних швів, що виступають у внутрішню порожнину трубопроводу. Ефект впливу кільцевих швів подібний до виступаючих кілець чи прокладок. Виступаючі шви можуть виникати у місцях приварки фланців до трубопроводу, а величина ефекту буде залежати від однорідності зварного шва, його висоти і положення по відношенню до одного або множинного відбору тиску для вимірювання перепаду тиску на первинному пристрої. Однак кількісно оцінити похибку в конкретній ситуації важко без допомоги процедури калібрування.

Слід зазначити, що відповідно до [215, 216] зварна труба може бути використана, за умови, що внутрішній зварний шов паралельний осі труби по всій довжині ВТ, необхідній щоб задовольнити вимоги до установки для конкретного ЗП. Будь-який зварний шов не повинен мати висоту більше допустимого відхилення значення діаметра ВТ. Якщо для відбору тиску не використовується кільцева камера, шов не повинен бути розташований в межах сектору $\pm 30^\circ$ відносно окремого отвору відбору тиску (рис.1). Якщо застосована кільцева камера, розташування шва не має істотного значення.

Якщо застосовано трубу з спіральним зварним швом, то цей шов повинен бути усунутий шляхом механічної обробки до гладкого стану для виконання вимог п.7.1.4 ISO 5167-1: 2003 [211] (ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009 [206]).

На малюнку 1 наведені зони розташування поздовжнього шва ВТ щодо окремого отвору для відбору тиску.



Малюнок. 1. Положення поздовжнього шва щодо окремого отвору для відбору тиску

Згідно з вимогами стандартів ISO 5167-1:2003 [211] (ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009 [206]) у випадках застосування прямошовної труби або звареної конструкції ВТ, або приварки фланців встик до трубопроводу, необхідно на ділянці $2D$ перед ЗП шов зачистити. Крім того, слід виміряти внутрішній діаметр трубопроводу в перетині розташування шва і переконатися, що його величина не відрізняється більше, ніж на 0,3% від значення діаметра D розрахованого відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 8.586.2-4 (пункт 6.4.2) [207-209].

У разі застосування звареної конструкції ВТ і трирадіусного способу відбору тиску, поперечний зачищений шов повинен знаходитися на відстані не менше $0,06D$ до отвору для відбору тиску і не менше $0,03D$ після нього .

Отвори для відбору тиску при кутовому і фланцевому способах відбору тиску розташовуються в застійній зоні, тому для цих способів розташування поперечного зачищеного шва щодо отворів для відбору не нормується.

За межами ділянки $2D$ висота внутрішнього шва прямошовної труби, а також внутрішнього валика зварного шва з'єднання секцій ВТ не повинна перевищувати допуску на уступ, встановленого для кожного типу ЗП (див. ДСТУ ГОСТ 8.586.2 – ДСТУ ГОСТ 8.586.4 (пункт 6.4.3)) [207-209].

За результатами аналізу науково-технічної літератури, присвяченої питанням впливу конструктивних особливостей трубопроводів на похибку

вимірювання витрати, встановлено, що такий вплив може бути суттєвим та може призводити до виникнення додаткових похибок. Зокрема, багатьма науково-дослідними роботами підтверджено, що заглиблення (концентричні щілини) на ділянці ВТ довжиною $2D$ до, перед та за діафрагмою не є впливовим фактором, який формує суттєві збурення потоку. Навпаки, наявність виступів у внутрішній порожнині трубопроводу можуть бути причиною суттєвих похибок вимірювання витрати.

Виступи на відстані $2D$ перед діафрагмою можуть мати істотний вплив на її коефіцієнт витікання. Окремими роботами визначено межі висоти виступу, для яких зміна коефіцієнта витікання знаходиться в межах похибки повторюваності даних експериментальних досліджень.

Виступи безпосередньо перед діафрагмою викликають найбільш значні відхилення коефіцієнта витікання в залежності від розміру виступу і відносного діаметра β діафрагми. Зокрема, при $\beta=0,5$ вплив виступів повинен бути врахованим вже при висоті виступу більше $1,0\%D$. Відхилення коефіцієнта витікання досягають значення $11,5\%$ при висоті виступу рівному $12,5\%D$. Для $\beta=0,7$ вплив виступів є ще більшим і їх слід уникати взагалі або забезпечувати висоту виступів нижче $0,38\%D$, щоб зберегти відхилення коефіцієнта витікання в межах його невизначеності.

Для формування чітких рекомендацій щодо зміни невизначеності коефіцієнта витікання діафрагми залежно від характеристик виступу, а, відповідно, і невизначеності вимірюваного значення витрати необхідно виконати ряд додаткових досліджень, зокрема і експериментальних.

5.4 Оптимізація теплової підсистеми термоперетворювачів для вимірювання температури газових потоків

Похибка вимірювання температури газових потоків контактними методами складається із двох основних складових: 1) похибки, що виникає в процесі вимірювання фізичної величини, в яку перетворена температура (похибка засобів вимірювання); 2) похибки, що виникає в процесі перетворення температури у вимірювану фізичну величину з допомогою термоперетворювача (ТП). Ця складова похибки має повністю тепловий характер і визначається умовами теплового балансу між досліджуваним газовим потоком і ТП та має найбільший вплив на загальну похибку вимірювання. Вона визначається сукупною дією таких чинників: тепловіддачею через випромінення до термоперетворювача або від нього; тепловідведенням від термоперетворювача за рахунок теплопровідності; перетворенням частини кінетичної енергії газового потоку в теплову в пристінному шарі, що оточує термоперетворювач; конвективним перенесенням тепла із пристінного шару до чутливого елемента термоперетворювача [220]. Відмітимо також, що якщо температура газового потоку є нестационарною, то за рахунок власної теплоємності термоперетворювача він не встигає реєструвати змінну в часі температуру потоку. За рахунок цього під час вимірювання нестационарних температур виникає динамічна складова похибки вимірювання [221].

Основним тепловим впливом, що діє на ТП під час вимірювання, є вплив газового потоку, температуру якого необхідно виміряти. Завдання, які необхідно вирішувати в процесі конструювання ТП зводяться до створення таких умов в ньому, при яких дією всіх видів теплових впливів на чутливий елемент ТП, крім основного, можна знехтувати. Для вирішення такого завдання необхідно проаналізувати кожен складову теплообміну і визначити умови, при яких складові похибки від цього виду теплообміну були б мінімальними. Після такого аналізу під час конструювання ТП необхідно повністю використати всі можливості зменшення кожної складової похибки.

Дослідження сукупного впливу всіх теплових чинників, що діють на ТП, практично неможливе, оскільки їх теоретична оцінка в більшості випадків має тільки наближений характер, а деякі можна визначити тільки експериментально. Тому для проведення аналізу всіх складових похибки, ТП для вимірювання температури газових потоків представлено у вигляді трьох послідовно з'єднаних підсистем: газодинамічної, теплової та електричної [222,223]. Таке представлення ТП дає змогу здійснювати оптимізацію складових похибки кожної підсистеми, а загальну похибку вимірювання визначати як суперпозицію цих складових. Газодинамічна підсистема перетворює температуру газового потоку, що поступає на вхід ТП, в температуру гальмування на вході в камеру гальмування ТП. Оптимізація газодинамічної підсистеми і складової похибки, що виникає в ній, детально досліджено в [223]. Теплова підсистема перетворює температуру гальмування у температуру чутливого елемента і характеризується складовими похибки від теплообміну через теплопровідність в елементах конструкції ТП, теплообміном випроміненням в камері гальмування і конвективним теплообміном з газовим потоком [224]. Електрична підсистема перетворює цю температуру у вихідний сигнал, що фіксується вимірювальним приладом. Необхідно відмітити, що вимірювання температури газових потоків відносять до спеціальних вимірювань і тому відсутня велика кількість публікацій з цих питань.

Метою дослідження є оптимізація теплової підсистеми для мінімізації складових похибки, що виникають від умов теплообміну між досліджуваним газовим потоком і ТП.

Для досягнення зазначеної мети необхідно виконати теоретичні та експериментальні дослідження складових похибки вимірювання температури газового потоку від теплообміну через теплопровідність в елементах конструкції ТП, теплообміну випроміненням в камері гальмування і конвективним теплообміном з газовим потоком та проаналізувати алгоритм їх мінімізації під час розроблення конструкції ТП.

Теплообмін ТП, призначених для вимірювання температури газових потоків, зумовлений теплообміном через теплопровідність чутливого елемента з елементами конструкції ТП, теплообміном через випромінення з внутрішньою поверхнею камери гальмування ТП і конвективним теплообміном з досліджуванним газовим потоком. Необхідно відмітити, що окремі залежності, якими описують вплив чинників на умови теплообміну, мають наближений характер. Тому аналітичне дослідження сукупного впливу основних чинників на загальну похибку вимірювання з практичної точки зору неможливе. На основі вище наведеного будемо аналізувати кожен складову похибки окремо з допущенням, решта складових відсутні. В цьому випадку загальну похибку вимірювання можна трактувати як суперпозицію складових похибок.

Математична модель теплової підсистеми. Математична модель теплової підсистеми відповідає математичній моделі теплообміну чутливого елемента, яка повинна складатися з врахуванням його теплової взаємодії з елементами конструкції ТП, навколишніми тілами і газовим потоком, а також можливою наявністю внутрішніх джерел тепла.

При розробленні математичної моделі теплової підсистеми ТП можна розглядати як однорідне ізотропне тіло. Для таких умов математична модель теплообміну може бути представлена у вигляді рівняння нестационарної теплопровідності Фур'є [225]:

$$C_V(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div}[\lambda(T) \operatorname{grad} T] + \omega, \quad (1)$$

де C_V , λ - відповідно об'ємна теплоємність і теплопровідність матеріалів чутливого елемента; div і grad – операції дивергенції і градієнту; ω - функція розподілу джерел енергії по об'єму ТП.

Для певних визначених інтервалів температури ΔT можна прийняти, що для конкретного матеріалу коефіцієнти $C_V(T)$ і $\lambda(T)$ є незалежними від температури. Тоді рівняння (1) стане лінійним і прийме вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \operatorname{div}(\operatorname{grad} T) + \frac{1}{C_V} \omega, \quad (2)$$

де a - коефіцієнт температуропровідності матеріалу чутливого елемента.

Рівняння (2) є узагальненою математичною моделлю теплової підсистеми ТП.

Як вказувалося вище, теплообмін ТП для вимірювання температури газових потоків обумовлений теплообміном через теплопровідність чутливого елемента з елементами конструкції ТП, теплообміном випромінення з внутрішньою поверхнею камери гальмування і конвективним теплообміном з газовим потоком. Розглянемо методи впливу на складові похибки, обумовлені кожною складовою теплообміну.

Складова похибки за рахунок теплообміну через теплопровідність. Під час вимірювання температури газових потоків ТП певним чином повинні закріплюватися в деякій арматурі (трубопроводи, резервуари, тощо) температура якої в загальному випадку відрізняється від температури газового потоку. Внаслідок цього розподіл температур по довжині ТП буде нерівномірним. Через тепловідведення по корпусу ТП і з'єднувальних чи термоелектродних провідниках температура чутливого елемента $t_{че}$ буде відрізнятися від дійсної температури газового потоку t_0 .

Кількісна оцінка цього явища може бути одержана із аналізу теплового балансу ТП при дії на чутливий елемент тільки конвективного теплового потоку і відведенні тепла до місця закріплення. Вплив тепловідведення на температуру чутливого елемента ТП можна розглядати як процес теплообміну між газовим потоком і ТП, виконаним у вигляді однорідного стержня, який консольно закріплюється на стінці арматури з температурою t_{cm} .

При побудові математичної моделі приймаємо *такі допущення*:

- тепловий вплив чутливого елемента на елементи конструкції ТП не враховується;
- тепловий контакт торцевої поверхні чутливого елемента з елементами кріплення є абсолютним, тобто відсутній тепловий опір;
- зміна температури ТП (стержня) $t(x)$ в радіальному напрямку не враховується, а тільки вздовж його осі і в кожному поперечному січенні залишається постійною.

Рівняння теплообміну для такого ТП має вигляд:

$$\frac{d^2 t_n(x)}{dx^2} - \nu^2 [t_0 - t_n(x)] = 0, \quad (3)$$

де $\nu^2 = \frac{\alpha U}{\lambda S}$; α – повний коефіцієнт теплообміну між ТП і потоком; U і S – відповідно периметр і площа поперечного перерізу ТП; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу ТП.

Допускаємо, що теплом, яке поступає через торець ТП при $x=0$ можна знехтувати в порівнянні з теплом, що поступає через його бокову поверхню і що температура ТП при $x=L$ дорівнює температурі стінки t_{cm} :

$$\frac{dt_n(x)}{dx} = 0 \text{ при } x=0; \quad t = t_{cm} \text{ при } x = L \quad (4)$$

Приймаючи, що коефіцієнт ν не залежить від температури потоку і координати x , з врахуванням (4) дістанемо:

$$\frac{t_0 - t_n(x)}{t_0 - t_{cm}} = \frac{ch\nu x}{ch\nu L}. \quad (5)$$

Складова похибки вимірювання Δt_m за рахунок тепловідведення через теплопровідність при розміщенні чутливого елемента ТП в точці $x=0$ (наприклад, спай термопари) визначиться залежністю:

$$\Delta t_m = t_n - t_0 = -\frac{t_0 - t_{cm}}{ch\mu}, \quad (6)$$

де
$$\mu = \nu L = L \sqrt{\frac{\alpha U}{\lambda S}} \quad (7)$$

Виразивши U і S через діаметр ТП d одержимо:

$$\Delta t_m = t_n - t_0 = -\frac{t_0 - t_{cm}}{chL \sqrt{\frac{4\alpha}{d\lambda}}}. \quad (8)$$

Рівняння (8) є вихідним для оцінки складової похибки вимірювання температури газового потоку від теплообміну через теплопровідність.

Методи впливу на складову похибки за рахунок теплообміну через теплопровідність. З рівняння (8) видно, що значення даної складової похибки можна зменшити такими способами:

- зменшенням різниці температур ($t_0 - t_{cm}$);
- збільшенням глибини занурення L ТП в газовий потік;

- зменшенням діаметра ТП, термоелектродних і з'єднувальних провідників, а також вибирати їх з малою теплопровідністю;
- збільшенням коефіцієнта конвективної тепловіддачі від газового потоку до чутливого елемента ТП.

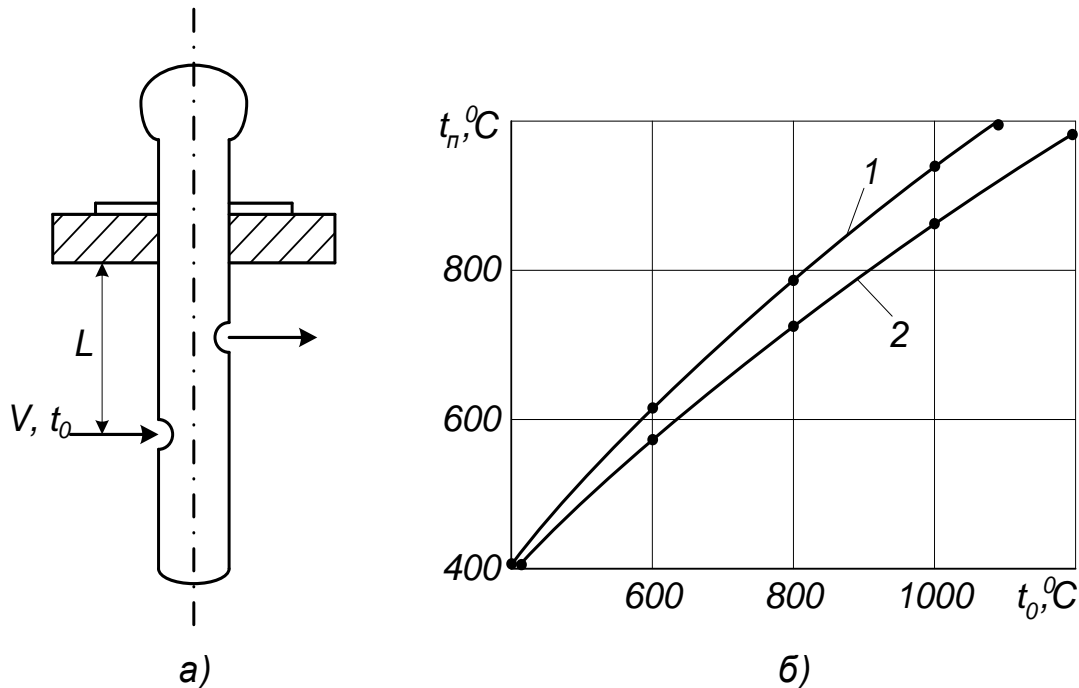
Зменшення різниці температур ($t_o - t_{cm}$) практично здійснити важко. В основному це можна досягнути тільки за рахунок електричного підігрівання стінки, на якій закріплюється ТП. Такий захід дозволяє практично повністю виключити складову похибки Δt_m від теплообміну через теплопровідність, але це пов'язано з великими експлуатаційними труднощами.

Температура t_{cm} визначається взаємодією виступаючої частини ТП із зовнішнім середовищем, в якому він встановлюється. Оскільки температура t_{cm} залежить від інтенсивності теплообміну виступаючої частини ТП, що розміщена поза газовим потоком, з навколишнім середовищем, необхідно виступаючу частину, по можливості, конструювати як найменших розмірів і теплоізолювати її від навколишнього середовища. Таку теплову ізоляцію можна досягнути шляхом розміщення між стінкою і корпусом ТП прокладок із матеріалу з низькою теплопровідністю (наприклад текстоліту, склотекстоліту, азбоцементу, тощо) або розміщення навколо виступаючої частини ТП нетеплопровідних екранів.

Найбільш вільно можна змінювати глибину занурення L ТП в газовий потік. Ця глибина занурення повинна бути по можливості найбільшою. Але навіть при великій глибині занурення ТП температура захисного корпусу буде дещо відрізнятися від температури газового потоку за рахунок впливу випромінення і перетворення частини кінетичної енергії в теплову. Тобто, зміною глибини занурення ТП можна тільки послабити тепловідведення через корпус.

Розглянемо вплив глибини занурення на покази ТП, конструкція якого схематично зображена на мал. 1а. Корпус ТП виготовлено із нержавіючої сталі марки 12Х18Н10Т, для якої коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 27,6$ Вт/(м·К).

Глибина занурення становила $L_1 = 100\text{мм}$ і $L_2 = 20\text{мм}$. Чутливим елементом служила термопара з номінальною статичною характеристикою типу К згідно [226]. При $L_1=100\text{мм}$ похибка від тепловідведення по корпусу для температури газового середовища $t=1000\text{ }^\circ\text{C}$ становила $\approx 3\%$, а при $L_2=20\text{мм}$ ця похибка зросла до $\approx 7\%$ (мал. 1б).



Малюнок 1. Розрахункова схема (а) та залежність (б) показів ТП від температури потоку для різних глибин занурення: 1 – $L=100\text{ мм}$; 2 – $L=20\text{мм}$.

Для зменшення похибки Δt_m доцільно використовувати термоелектроди з малою теплопровідністю. Це дає змогу виготовити ТП будь-якої конструкції досить компактним. Особливо це відноситься до ТП з поздовжнім обтіканням чутливого елемента, оскільки для них складніше забезпечити достатню глибину занурення, яка гарантувала б мінімальні похибки від тепловідведення через теплопровідність.

Під час обтікання газовим потоком твердого тіла біля його поверхні утворюється пристінний шар, в межах якого швидкість середовища зменшується від значення, що дорівнює швидкості набігаючого потоку, до нуля. Кількість тепла, що переноситься від середовища до твердого тіла буде визначатися

коефіцієнтом конвективної тепловіддачі α , який залежить від критерію Рейнольдса, геометричних параметрів ТП і параметрів газового потоку.

За результатами багатьох досліджень і за дослідженнями автора, при дозвукових швидкостях потоку в діапазоні зміни Re від 100 до 10000 можна рекомендувати такі емпіричні залежності, що характеризують теплообмін між ТП і газовим потоком :

- для круглих циліндричних ТП, що поперечно омиваються потоком

$$Nu=(0,44 \pm 0,06)Re^{0,5}, \quad (9)$$

а для повздовжнього обтікання

$$Nu=(0,085 \pm 0,009)Re^{0,674}. \quad (10)$$

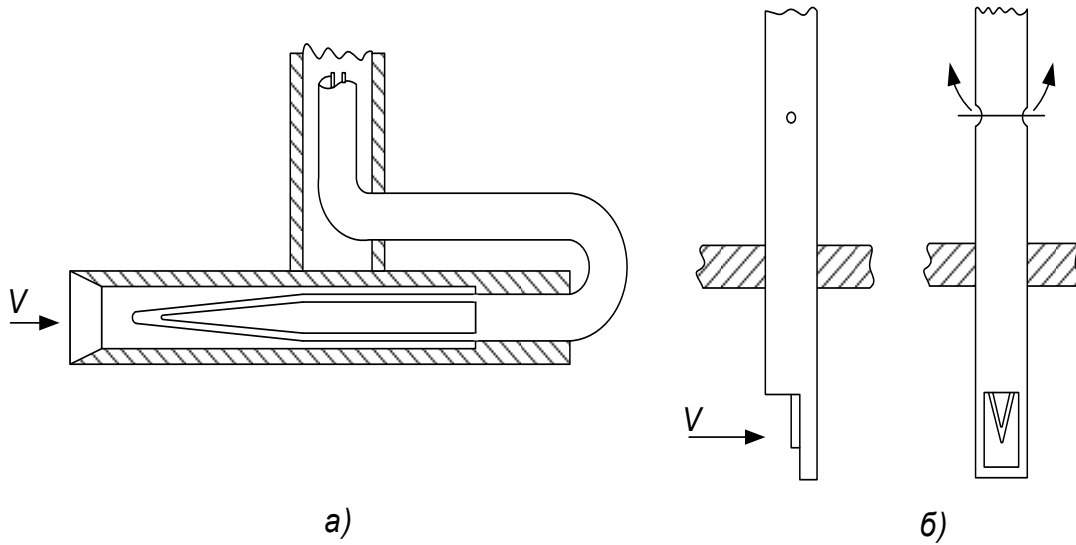
Залежності (9) і (10) охоплюють температурний діапазон від 15 до 1620 °С і числа Маха M від 0,015 до 0,9. Ці дані можуть бути використані під час синтезу ТП з камерами гальмування, в яких швидкість газового потоку завжди відповідає числу $M < 1$.

Значення коефіцієнта тепловіддачі α можна регулювати зміною діаметра ТП та швидкістю потоку всередині камери гальмування. Але коефіцієнт α може змінюватися у відносно невеликих межах, оскільки зменшення діаметра ТП призводить до зменшення його механічної міцності, а збільшення швидкості в камері гальмування призведе до збільшення швидкісної похибки, обумовленої неповним перетворенням кінетичної енергії рухомого газу в теплову в пристінному шарі, що оточує чутливий елемент ТП і яка є основою для газодинамічної підсистеми ТП [223]. Отже, існує деякий оптимум для результуючої дії вказаних чинників.

Результати теоретичних розрахунків показують, що при зменшенні числа Рейнольдса (і, відповідно, при зменшенні інтенсивності конвективного теплообміну) необхідно збільшувати глибину занурення ТП в газовий потік. Рекомендоване відношення L/d може знаходитись в межах від 20 до 50 і є достатнім для практично повного усунення похибки від тепловідведення.

На мал. 2 показані типові конструкції ТП, призначені для послаблення тепловідведення від чутливого елемента. В ТП, зображеному на мал. 3а довжина

робочої частини дорівнює 50 діаметрам термоелектродів, що забезпечує послаблення тепловідведення від корпусу.



Малюнок 2. Типові конструкції ТП для зменшення тепловідведення через теплопровідність

Наявність отворів з достатньо великим віддаленням їх від спаю чутливого елемента в ТП, зображеному на мал. 2б, збільшує умовну глибину занурення, що особливо важливо в умовах обмеженості робочого простору для встановлення ТП. Як правило, такий ТП придатний для експлуатації тільки при відсутності теплообміну випромінюванням, оскільки в його конструкції не передбачено екранування. В ТП даної конструкції похибка від тепловідведення зменшується завдяки тому, що газовий потік обтікає термоелектроди термопари на достатньо великому проміжку від спаю до вихідних отворів.

Складова похибки за рахунок теплообміну через випромінення. Під час аналізу теплообміну через випромінення допускалося, що в тепловому балансі ТП приймають участь тільки два види теплообміну – конвективний і випроміненням.

При обтіканні газовим потоком чутливий елемент ТП за рахунок конвективної теплопередачі від потоку до поверхні отримує за одиницю часу кількість теплоти Q_1 , яка визначається виразом:

$$Q_1 = \alpha F_n (t_o - t_n), \quad (11)$$

де F_n – площа поверхні частини ТП, зануреної в газовий потік.

Цей вплив газового потоку на ТП є корисним впливом.

Величина теплового потоку Q_2 , яка віддається поверхнею зануреної частини ТП шляхом теплообміну випроміненням з поверхнями стінок, що оточують потік, визначається залежністю:

$$Q_2 = \frac{\sigma \varepsilon_n F_n}{\xi} \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ct}}{100} \right)^4 \right] \quad (12)$$

де σ – постійна Стефана-Больцмана; ε_n – повний коефіцієнт чорноти поверхні ТП; ξ – коефіцієнт зменшення теплових втрат випроміненням за рахунок обтікання ТП газовим потоком; T_n , T_{ct} – відповідно термодинамічні температури чутливого елемента ТП і оточуючих стінок.

Вирішуючи рівняння (11) і (12) при допущенні, що втрати тепла через інші причини, крім випромінювання, відсутні, отримуємо залежність для визначення складової похибки Δt_g за рахунок випромінення:

$$\Delta t_B = t_n - t_0 = \frac{\sigma \varepsilon_n}{\alpha \xi} \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ct}}{100} \right)^4 \right]. \quad (13)$$

Методи впливу на складову похибки за рахунок теплообміну через випромінення. Із рівняння (13) видно, що складову похибки, обумовлену випроміненням, можна оптимізувати зміною трьох параметрів: повного коефіцієнта чорноти ε_n , коефіцієнта конвективної тепловіддачі α і температури оточуючих стінок T_{ct} .

Для зменшення складової похибки Δt_g доцільно використовувати термоелектродні і конструкційні матеріали з низьким і стабільним при різних зовнішніх умовах коефіцієнтом чорноти. Але в цих умовах конструктор буває дуже обмежений у виборі, оскільки до термоелектродних і конструкційних матеріалів пред'являються і інші не менш вагомні вимоги (чутливість, тугоплавкість, еластичність, тощо), які не завжди узгоджуються з вимогою низького і стабільно значення коефіцієнта чорноти. Тим не менше і в цих випадках похибка від випромінення може бути зменшена шляхом нанесення на основний матеріал покриття із таких металів з малим значенням коефіцієнта

чорноти, як срібло (0,05), золото (0,05), або платина (0,18). В [224] показано, що при використанні таких покриттів похибка, обумовлена випроміненням, може становити лише 13% похибки, що має місце для аналогічних умов в конструкції без покриття. До недоліків покриттів слід віднести те, що з часом вони руйнуються і втрачають свою ефективність.

Що відноситься до збільшення коефіцієнта конвективної тепловіддачі α , то тут справедливі всі судження, наведені вище, згідно яких коефіцієнт тепловіддачі може змінюватися у відносно невеликих межах.

Основним засобом впливу на складову похибки, обумовлену випроміненням, є підвищення температури стінки t_{cm} . При рівності температур газового потоку і стінки втрати за рахунок випромінення виключаються повністю. Однак практично реалізувати цю умову дуже складно. Для зменшення різниці між температурою стінок і температурою газового потоку інколи застосовують теплову ізоляцію стінок, але найчастіше зменшення впливу холодних стінок досягається ефективним екрануванням чутливого елемента одним або декількома екранами. Захисні екрани необхідно встановлювати між чутливим елементом ТП і стінками. Захищений екраном чутливий елемент буде втрачати менше тепла, ніж при відсутності екрана і його температура буде ближчою до температури газового потоку. При наявності холодних стінок в теплообміні випроміненням з ними бере участь екран, а вже з екраном взаємодіє чутливий елемент ТП.

Картина теплообміну випроміненням в екранованих ТП з поздовжнім і поперечним обтіканням газовим потоком, питання розрахунку кількості екранів, необхідних для того, щоб складова похибки від випромінення не перевищувала задане значення, а також застереження, які необхідно враховувати під час конструювання екранованих ТП, детально описані в [224].

Необхідно зазначити, що не всі складнощі, які створюються впливом випромінення, піддаються усуненню шляхом тільки встановлення додаткових екранів. Якщо швидкість газового потоку є дуже малою або якщо пред'являються досить жорсткі вимоги до точності вимірювання, то кількість

необхідних екранів значно зросте, конструкція ТП стане громіздкою і в більшості випадків практично її реалізувати буде неможливо. В таких випадках можна рекомендувати використання електричного підігрівання внутрішнього екрана або підвищити швидкість протікання газового потоку всередині ТП між екранами з допомогою зовнішніх пристроїв (відсмоктуючих пірометрів). Але при використанні зовнішнього відсмоктування необхідно враховувати можливе збільшення швидкісної похибки.

Висновки. Аналіз математичної моделі теплової підсистеми ТП для вимірювання температури газових потоків показує, що теплообмін в підсистемі здійснюється через теплопровідність чутливого елемента з елементами конструкції ТП, випроміненням з внутрішньою поверхнею камери гальмування і конвективним теплообміном з газовим потоком. В статті наведено методи впливу на складові похибки, обумовлені кожною складовою теплообміну. Для зменшення складової похибки за рахунок теплообміну через теплопровідність доцільно застосовувати такі способи: зменшувати різницю між температурами газового потоку і оточуючих стінок, в яких розміщено ТП; збільшувати глибину занурення ТП в газовий потік; зменшувати діаметр ТП, термоелектродних і з'єднувальних провідників, а також вибирати їх з малою теплопровідністю; збільшувати коефіцієнт конвективної тепловіддачі від газового потоку до чутливого елемента ТП. Зменшення складової похибки за рахунок теплообміну через випромінення здійснюють зміною повного коефіцієнта чорноти, коефіцієнта конвективної тепловіддачі і температури оточуючих стінок.

SECTION 6. FOOD TECHNOLOGY

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.6.1

6.1 Determining the influence of the coolant velocity on the parameters of the formation of the spray torch in the drying chamber

The spraying process is characterized by a set of forces acting on the jet or pellicle of liquid coming out of the spray. These include surface tension forces and forces of normal pressure of the gaseous medium that counteract them; forces of inertia and viscosity; friction forces in the interaction of jets with the environment. The interaction of these forces determines the dynamics of the process of spraying liquid jets or pellicles into droplets.

Studies of the hydrodynamics of spraying make it possible to obtain a ratio for calculating the dispersion of the spray, the diameter and shape of the spray torch, as well as the density of the spray torch along its radius. These studies are important for solving a practical problem in choosing a rational scheme of supply and movement of liquid or gas.

The efficiency of spray dryers is largely determined by the rational organization of the process of interaction of dispersed droplets with the coolant in the area of the spray torch.

When studying the process of coolant distribution, the most important thing is to establish the dependences of the dispersed characteristics of the spray torch on the parameters of the spray, its design and coolant supply rates.

The aim is to increase the efficiency of the spray drying method of whey and other liquid foods, reduce energy consumption and improve the quality of the finished product by improving existing drying methods and developing new equipment based on theoretical and experimental studies of spray drying.

Determination of the geometric dimensions and elements of chamber drying

The depth location of the spray disk in the drying chamber (H_R)

Defined [248] that the minimum ratio between the distance from the camera cover to spray disk (H_R) in diameter chamber drying D , in which the motion of the spray stream will not "stick" to the cover of the drying chamber is:

$$\frac{H_p}{D} = 0,1 \quad (1)$$

For the existing chamber $H_P = 60$ cm.

In the range of linear speeds of a spray disk $60 \div 120$ m / s at size of departure of a disk under an arch of the device $\frac{H_p}{D} < 0.1$ creates a board jet mode. The spray torch is pressed against the cover of the device, leading to intensive fouling of the surfaces of the device by the undried product.

At values of $\frac{H_p}{D} > 0.1$ two-phase jet propagates as a free flooded jet, inducing the movement of the surrounding gas volumes in the direction of the spray torch. [248]

Geometric ratios in centrifugal spray dryers ($\frac{H_c}{D}$; $\frac{H_p}{D}$ Fig. 1) are established as a result of influence of the following factors:

- design features of the spraying mechanisms (the drive device, length of a high-speed shaft).
- spraying method, characterized by the horizontal direction of the main forces and, accordingly, the shape of the "spray torch" close to the horizontal.

Based on the experience of practical development of these devices [248], taking into account the specified conditions for drying chambers with the upper location of the sprayer, the following size ratios are established:

$$\frac{H_c}{D} = 0.5 - 1.0; \quad \frac{H_p}{D} = 0.1 \quad (2)$$

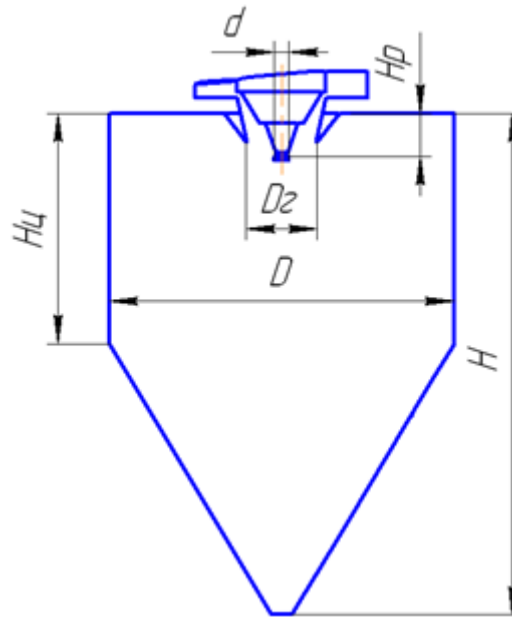


Fig. 1 Scheme of a drying chamber with a centrifugal spray.

As can be seen, the tower cover is located at a short distance from the disk, and the height of the cylindrical shell under the disk may be comparable to or less than the radius of the device.

Under these conditions, the operation of the dryer is possible only with a horizontal, or close to it shape of spray torch.

A similar effect of a sharp rise in the initial section of the spray torch was observed during the launch of a number of industrial facilities in the production of milk powder, feed yeast, dyes and other materials [228]. In these cases, even when using forced values of temperature and velocity of the coolant, the dryer was inoperable, not providing a dry bulk powder and leading to intensive overgrowing of the inner surfaces of the drying chamber with undried product.

Based on these assumptions and design parameters of the spray system, it is clear that there is a need to change the operating parameters, namely to increase the flow rate of the coolant to change the aerodynamic vortices inside the tower of the spray complex, optimize the spray process and reduce energy consumption.

In order to increase flow rates, geometric narrowing of the conditional passage of devices for liquids and gases in the form of nozzles and caps is widely used in scientific research and technology.

In these devices, for a given inlet pressure, the mass flow rate through the constricted device will reach a maximum value when the downstream pressure decreases to a critical value. The flow under these conditions is called the critical flow [236].

After reaching this mode, any further decrease in flow pressure does not increase the flow rate of the mass, and it is said that the Venturi nozzle has critical value [237] or acquires a critical flow regime [235,238].

This flow mechanism allows you to accurately monitor and measure the dynamic parameters of the device. The critical flow can be used where it is necessary to maintain a constant mass flow rate.

The mechanism regulating the transition for single-phase gas is well defined. To achieve the critical mode, the gas flow must be accelerated to a local sound velocity at the Venturi nozzle to prevent pressure waves that moving upstream. Conditions and standards for the use of Venturi critical injectors are clearly defined by ISO 9300 [239].

When air enters the Venturi nozzle, the velocity increases and the pressure in the area decreases due to a decrease in the cross-sectional area available for flow. This maximum fluid velocity is also called the critical flow velocity, which is a function of the pressure emanating from the nozzle geometry and the physical properties of the fluid [228]. This type of flow is specifically referred to as the critical cavitation flow [244].

According to the laws governing the dynamics of the flow of liquids and gases, the velocity must increase as the air passes through the constriction to satisfy the principle of continuity, while its pressure must decrease to satisfy the principle of conservation of mechanical energy. Thus, the pressure drop denies any increase in kinetic energy that can be accumulated by a liquid or gas due to an increase in velocity due to constriction. The equation of pressure drop due to the Venturi effect can be obtained from a combination of the Bernoulli principle and the continuity equation. It usually has a resistance factor of about 0.85 [244].

Using the Bernoulli equation for incompressible flows (for example, the flow of water or other liquid, or low gas flow rate v), the theoretical pressure drop $p_1 - p_2$ at narrowing is given [247]:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2) \quad (3)$$

Where ρ is the flow density.

The volumetric flow rate Q is given:

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (4)$$

where: A is the Venturi cross-sectional area at any point; v is the flow rate at this point.

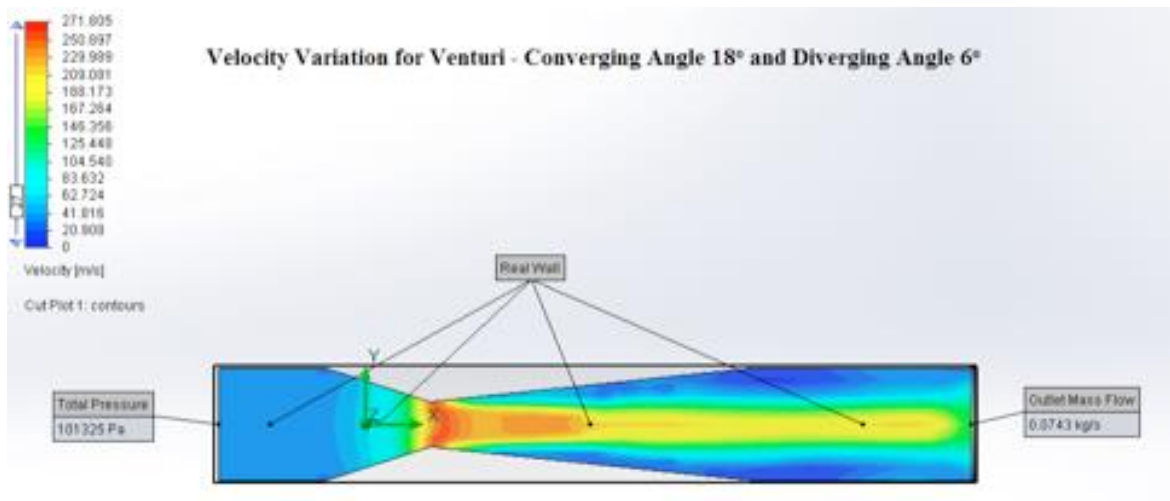


Fig. 2 Distribution of velocities in the cross section of the Venturi nozzle.

Another method of accelerating the flow due to design parameters is the technique used in Laval nozzles. In the following analysis of the gas flow in the Laval nozzle, the following assumptions are made:

- the gas is considered ideal;
- the gas flow is isotropic (i.e. it has a constant entropy, friction forces and dissipative losses are not taken into account) and adiabatic (i.e. heat is not supplied or removed);
- the gas flow is stationary and one-dimensional, i.e. at any fixed point of the nozzle all flow parameters are constant in time and change only along the nozzle axis, and at all points of the selected cross section the flow parameters are the same and the gas velocity vector is parallel to the nozzle axis;
- the mass flow of gas is the same in all cross sections of the flow;

- the axis of symmetry of the nozzle is the spatial coordinate.

The ratio of the local speed v to the local speed of sound C is denoted by the Mach number [249], which is also considered local, i.e. dependent on the coordinate x :

$$M = v \cdot C \quad (5)$$

From the equation of state of an ideal gas we obtain:

$$dp/d\rho = C^2 \quad (6)$$

where ρ is the local density of the gas, p is the local pressure.

With this in mind, as well as taking into account the stationary and uniformity of the flow, the Euler equation takes the form:

$$v dv/dx = -1/\rho \cdot dp/dx = -1/\rho \cdot dp/d\rho \cdot d\rho/dx = -C^2/\rho \cdot d\rho/dx, \quad (7)$$

Given equation (3), we obtain:

$$1/\rho \cdot d\rho/dx = -M^2 \cdot 1/v \cdot dv/dx. \quad (8)$$

Equation (4) is key. Consider it as follows:

$$\frac{1/\rho \cdot d\rho/dx}{1/v \cdot dv/dx} = -M^2 \quad (9)$$

The values of $1/\rho \cdot d\rho/dx$ and $1/v \cdot dv/dx$ characterize the relative degree of variability in the coordinate of x the gas density and its velocity, respectively.

Moreover, equation (9) shows that the ratio between these quantities is equal to the square of the Mach number (minus sign means the opposite direction of change: with increasing speed, the density decreases).

Thus, at subsonic velocities ($M < 1$) the density changes to a lesser extent than the velocity, and at supersonic ($M > 1$) - on the contrary. As will be seen later, this determines the narrowing - expanding shape of the nozzle.

Since the mass flow of gas is constant:

$$\rho \cdot v \cdot A = \text{const} \quad (10)$$

A is the area of the local section of the nozzle,

$$\ln \rho + \ln v + \ln A = \ln(\text{const}) \quad (11)$$

differentiating both parts of this equation by x , we obtain:

$$1/\rho \cdot d\rho/dx + 1/v \cdot dv/dx + 1/A \cdot dA/dx = 0 \quad (12)$$

After substitution with (4) in this equation, we obtain finally:

$$dA/dx = Av \cdot dv/dx \cdot (M^2 - 1) \quad (13)$$

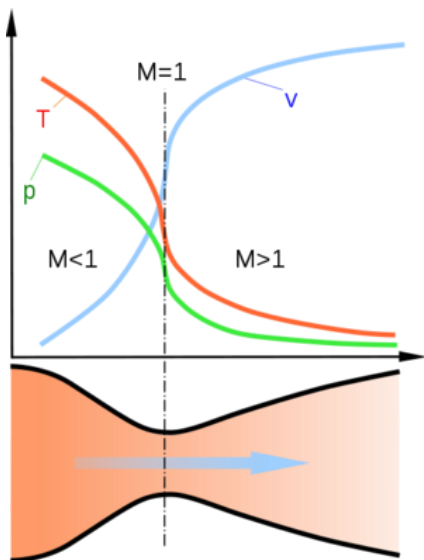


Fig. 3 Characteristics of the Laval nozzle. As the gas moves through the nozzle, its absolute temperature T and pressure P decrease, and the velocity V increases.

From the above we can draw the following conclusions:

- at the subsonic velocity of the gas ($M < 1$), the derivative $dA/dx < 0$ - the nozzle narrows;
- at the supersonic velocity of the gas ($M > 1$), the derivative $dA/dx > 0$ - the nozzle expands;
- when the gas moves at the speed of sound ($M = 1$), the derivative $dA/dx = 0$ - the cross-sectional area reaches an extreme, i.e. there is the narrowest section of the nozzle, called the critical.

Therefore, in the narrowed, subcritical section of the nozzle, the gas moves at subsonic speeds. In the narrowest, critical section of the nozzle, the local gas velocity reaches supersonic. The flow accelerates to supersonic speed in an extended, supercritical section. This acceleration is due to the fact that the wave of pressure drop from the expanded portion of the gas in the supersonic flow does not have time to spread to other parts of the nozzle. Bernoulli's law is not fulfilled in these conditions.

[249]

Hydrodynamic CFD modeling of drying agent supply modes in the drying complex

The use of the basic, above, provisions and methods of changing the physical parameters of the output flow of the coolant in order to adapt the organization of drying agent supply to the installation chamber requires additional modeling.

For this purpose, the simulation of the air supply to the spray tube and the basic CFD calculations were performed using the Ansys software package with the establishment of double the accuracy of the calculation based on the pressure in ANSYS FLUENT.

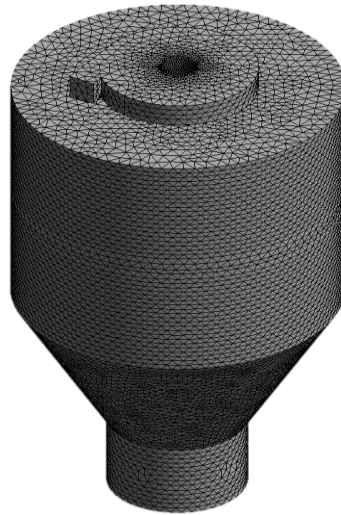


Figure 4. 3d-Model of the drying complex.

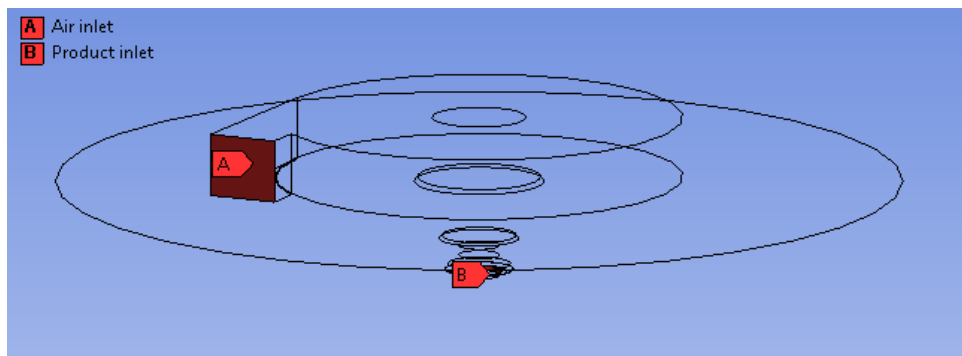


Figure 5. A - coolant supply zone; B - the area of product supply to the tower.

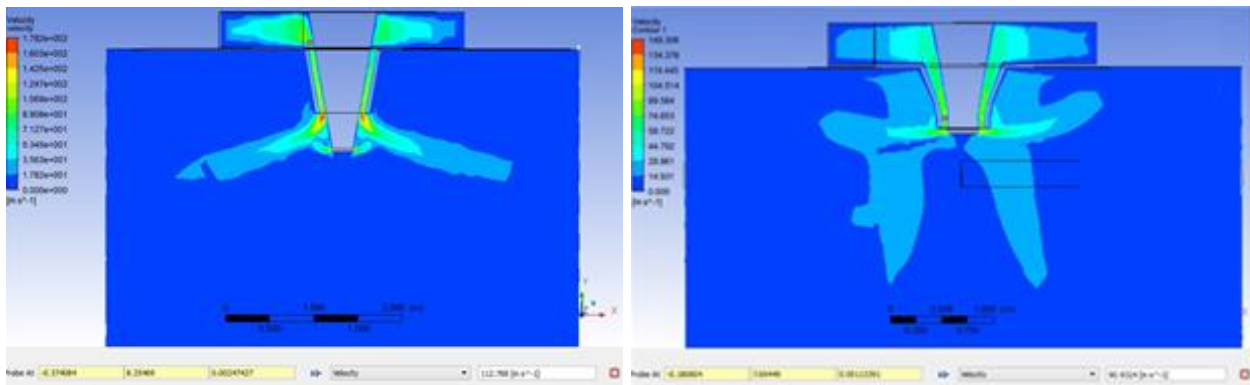
When creating the calculation area and mathematical model in the Ansys Fluent space, to calculate the air velocities in the spray torch, all equations were spatially discretized according to the scheme of the second order. The "PRESTO!" Scheme was used for spatial pressure sampling.

The following assumptions were accepted as boundary conditions:

- the transitional formulation followed an implicit second-order scheme;
- communication "pressure - speed" was carried out according to the COUPLED scheme;
- turbulence modeling was achieved by the method using the SST turbulence model, for which a detailed justification can be found elsewhere [228];
- for boundary conditions of the wall used the so-called "enhanced wall treatment", which solves the zone of "wall zone", which affects the viscosity to the viscous sublayer and automatically switches based on the laminar sublayer to the function of the wall depending on the grid [229];

- the discrete phase (particles) was combined with the continuous phase by means of two-way turbulence communication when applying the boundary condition of the “reflecting” wall with a reduction factor of 1, which was considered justified in the work of Y. Jin, XD Chen [230].

The aim of the research was to establish the hydrodynamic modes of supply of the drying agent and to determine their influence on the parameters of the formation of the product spray torch (Fig. 6).



a

b

Fig. 6 Speed modes in the flare zones in the radial intersection of the drying chamber:

a) speed in the design without modification of the Venturi nozzle;

b) speed in the design with a modification of the Venturi nozzle at the entrance to the vertical part of the timing device.

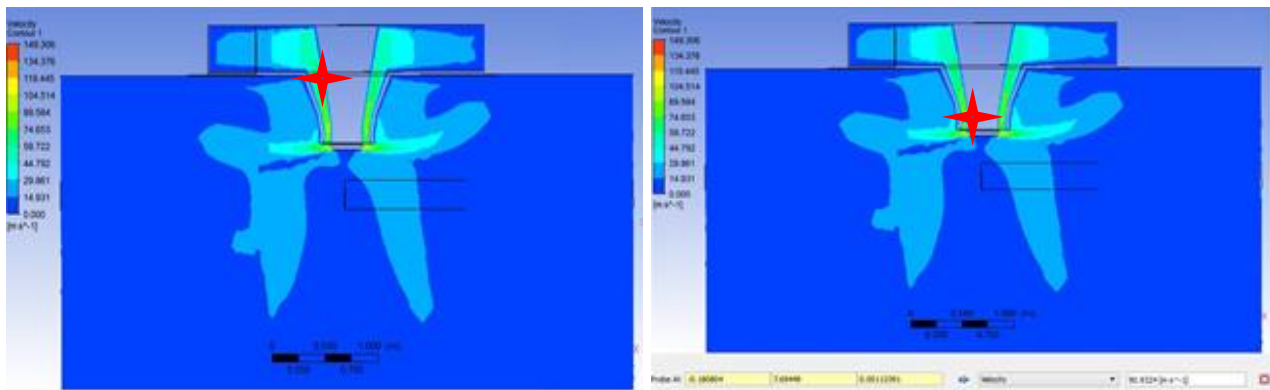
At small values of the diameter of the conical part, the air flow knocks down the torch of the product spray, as a result it begins to oscillate in the vertical plane and goes into unstable mode, resulting in premature contact of undried serum particles with the surface of the chamber lid and product particles stick to its surface. (Fig.4)

Also, the diameter of the lower part of the cone of the gas distribution device should be such that the speed of the coolant supplied to the chamber is sufficient to balance the recirculation flows. Therefore, the diameter of the lower part of the cone can not be very large.

The smaller the depth of the cone in the drying chamber, the higher the spray torch rises, which goes into board mode. The removal of the spray disk from the edge

of the cone gas distribution device must be such that the jet of the spray torch does not touch the edge of the cone and it does not stick wet particles of the product.

Based on this, the experiment selected the following parameters: air velocity in the vertical part of the gas distribution device 15 m / s, which allowed at the beginning of the Venturi nozzle to reach a speed of 63 m / s (left), and at the outlet of the nozzle, near the spray disk (right), speed 90 m / s (Fig. 7), which accelerates the flow of air to the spray torch 6 times without additional energy consumption, but only due to the design solution.



a

b

Fig. 7. Modes of coolant velocities in the drying chamber:

- a) Coolant velocity at the entrance to the vertical part = 63 m / s.
- b) The velocity of the coolant near the spray disk.

The motion of a particle in a gas flow depends on the action of various forces - hydrodynamic resistance, gravity, centrifugal, Coriolis, etc. In addition, the motion of the particle is significantly affected by a number of difficult to predict factors (change in mass, shape and particle size, unevenness and turbulent pulsations gas velocity through the section of the device, changes in gas temperature, etc.), so when deriving the ratios suitable for engineering calculations, the analyzed system is usually simplified by introducing assumptions. Thus, it is assumed that the particle has a spherical shape of equivalent diameter; the mass and particle size are averaged over the initial and final values. It is believed that the movement of gas in the device occurs at a constant speed in the considered cross section of the device; turbulent pulsations and mixing is not taken into account. The gas temperature is also averaged, or set

constant at the entrance to the drying complex. When calculating the trajectory of the particle, the decomposition of the velocity vector into coordinate axes is allowed. Of all the variety of forces acting on the particle during its motion, only the force of gravity and the force of hydrodynamic resistance are taken into account. In some cases, the forces of inertia are also taken into account when the particles move along a curvilinear trajectory (flow twist). Empirical coefficients are usually introduced to account for other forces.

The following parameters were used as a basis for subsequent studies.

Parameters of research of process of spray drying

Boundary conditions and physical parameters:

Temperature of drying agent - 175 °C

Velocity of giving of a spray product - 150 m / s

Acceleration of free falling in the drying chamber - 9.81 m / s²

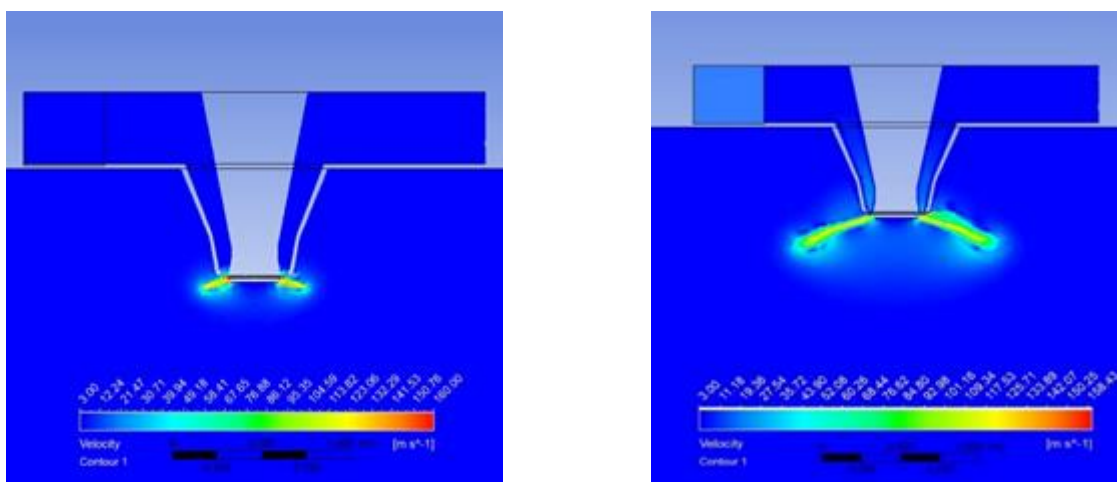
Mass expense of a product - 0,3 kg / s

Thermal conductivity of the wall of the drying chamber - 3 W · m⁻¹ · K⁻¹

Pressure in the tower during drying - 0.8 bar

Volume flow of the blower - 560 m³/ min.

Changing the feed rate of the coolant, a number of simulations were performed in the prototype of the narrowed part of the tube of the spray dryer.



a

b

Fig. 8. The result of product distribution at the feed rate of the coolant:

a) = 0 m / s *b)* 10 m / s

At feed rates (Fig. 8) the deviation of the torch of the product spray does not differ significantly.

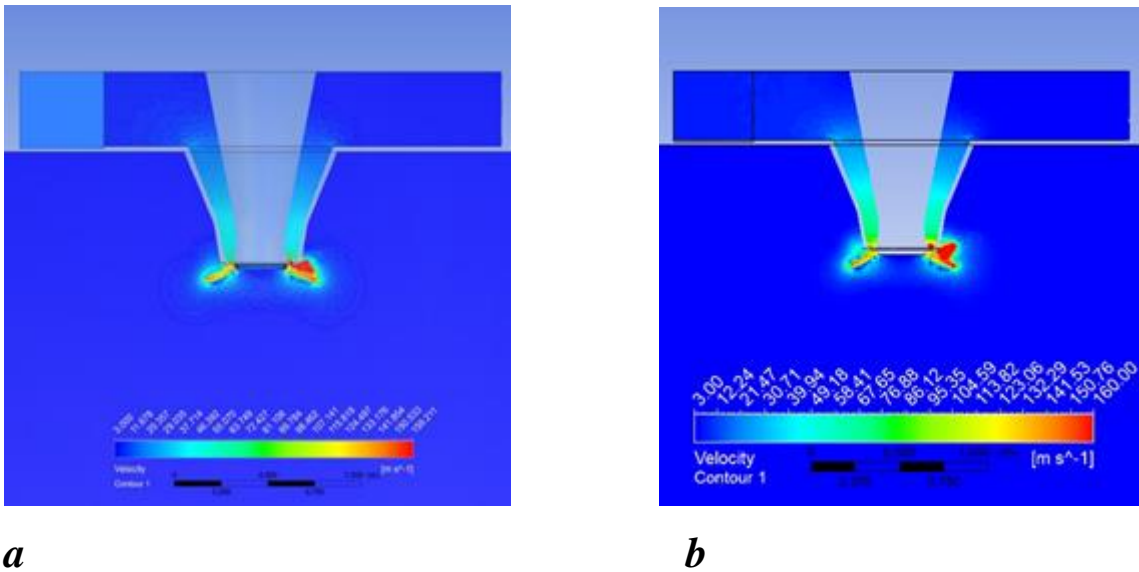


Fig. 9. The result of product distribution at the flow rate of the coolant:
a) = 20 m / s *b*) 25 m / s

At the feed rates (Fig. 9) is formed externally on the opposite side of the coolant supply tube.

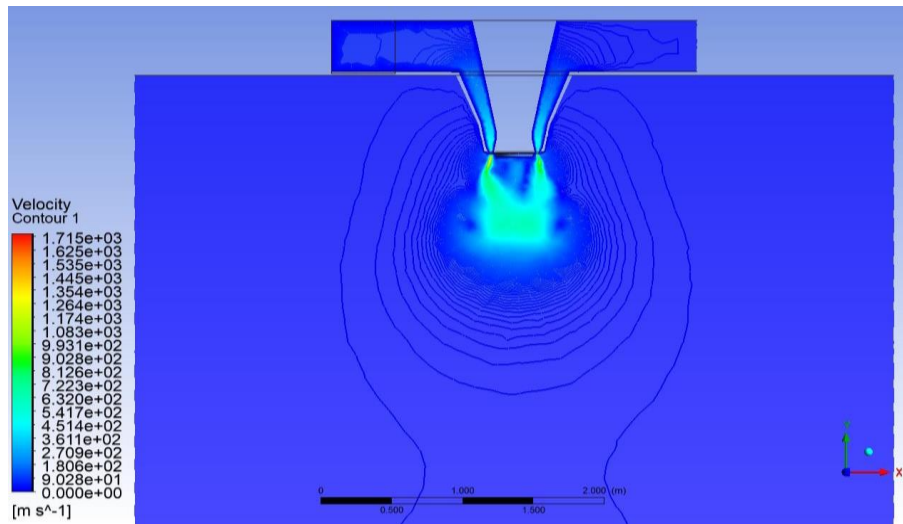


Fig. 10. Distribution of the product at the feed rate of the coolant = 50 m / s. Particle concentration.

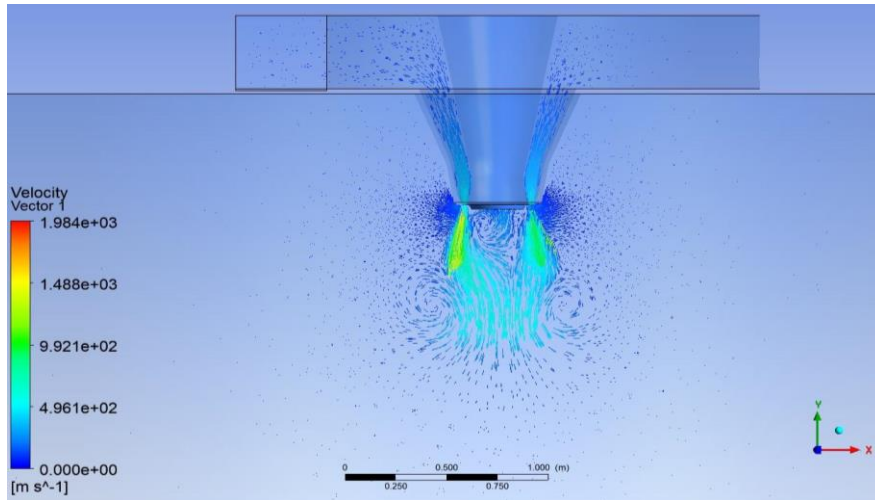


Fig. 11. Distribution of the product at the flow rate of the coolant = 50 m / s. Velocity vectors.

Analysis of the spray drying process in a disk spray complex.

Based on the simulation results, it can be seen that when the coolant (Fig. 8) is characterized by 0 and 10 m / s, the product spray torch is practically indistinguishable. When increasing the velocity characteristic to 20 and 25 m / s (Fig. 9), the so-called extremes are formed on the opposite side of the coolant supply, which can negatively affect the distribution of the product in the drying chamber. The optimal value of the coolant supply to the spray complex = 50 m / s (Fig. 10). With this parameter of air supply to the spray torch, there is an effective distribution of the spray product, and an effective process of evaporation of moisture from it.

As a result of researches the following dependencies are received:

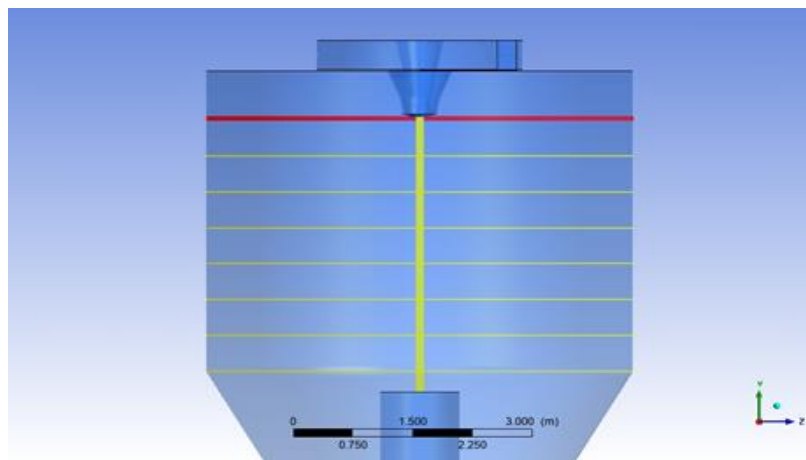


Fig. 12. Distribution lines of 3d-model on which graphs are received.

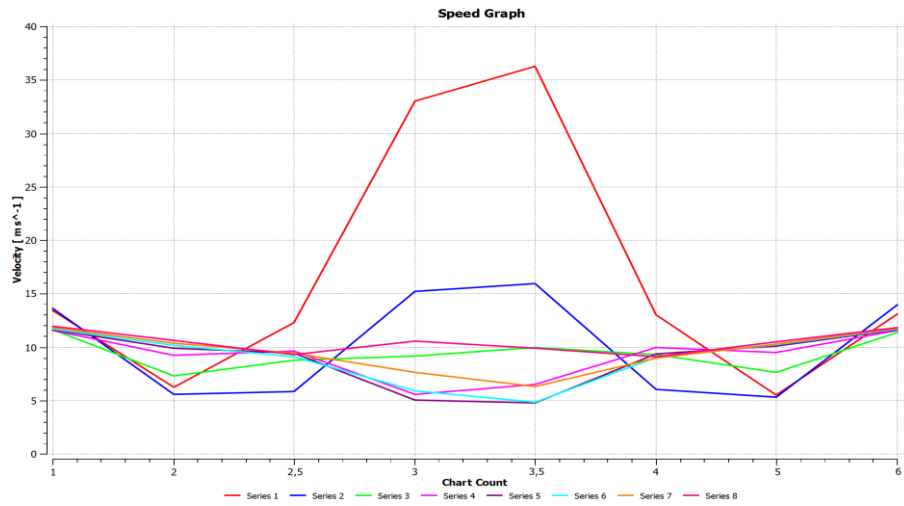


Fig.13. The dependence of the flow rate along the diameter line under the spray disk to the bottom.

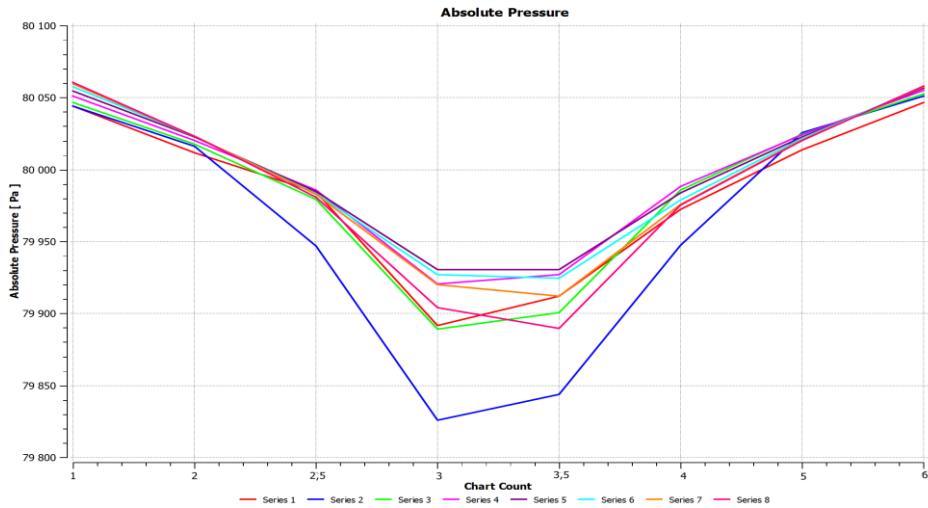


Fig. 14. Dependence of absolute pressure in the tower, along the diameter line under the spray disk to the bottom.

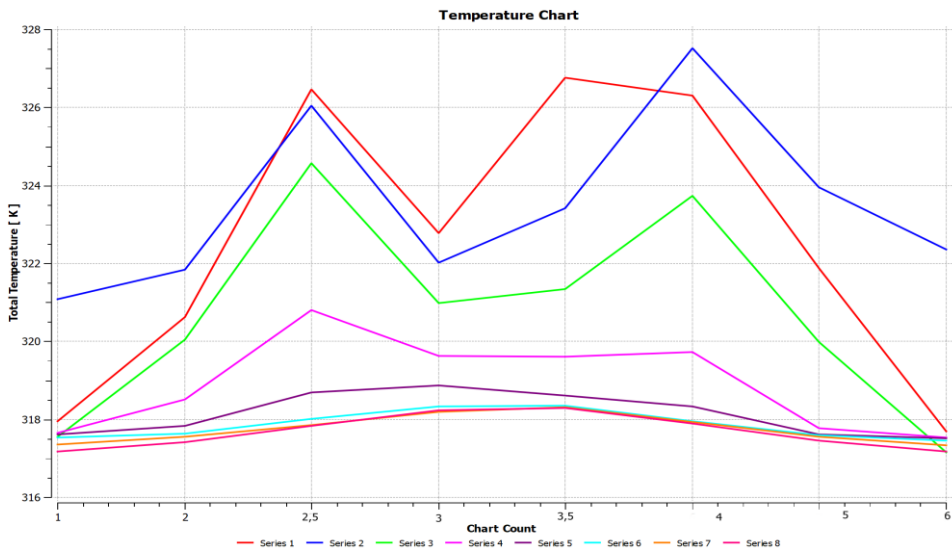


Fig. 15. Dependence of temperature on the line under the spray disk to the bottom.

Conclusions

The article considers and defines the following goals:

- The aerodynamic parameters of the flight of product particles in the drying complex depending on the supply parameters of the drying agent are determined.

The optimal parameters are:

Drying agent temperature - 175°C , Spray product feed rate - 150 m / s , Free fall acceleration in the drying chamber - 9.81 m / s^2 , Mass product consumption - 0.3 kg / s , Thermal conductivity of the drying chamber wall - $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, Pressure in the tower during drying - 0.8 bar , Volume flow of the blower – $560 \text{ m}^3 / \text{min}$.

- At a coolant supply rate of 50 m / s , the particle flow distribution of the product is formed in the middle of the drying complex.

- The dependence of the operating mode of the spray equipment and the parameters of the whey drying process on the design solutions of the dryer is determined, namely the design solution in the form of geometric narrowing of the distribution tube that accelerates the air flow to the spray disk.

- The scientific substantiation of methods of spray drying of whey from sour-milk cheese by increase of efficiency of the process of giving of the heat carrier and use of high temperatures is given.

6.2 Вплив мікрокомпонентів вихідної сировини на стабільність та сенсорну оцінку горілок і лікєро-горілочаних напоїв

Мікрокомпонентний склад води підготовленої та мікродомішок спирту етилового ректифікованого має істотний вплив на сенсорну оцінку горілок, горілок особливих, лікєро-горілочаних напоїв та їх стабільність під час зберігання [250-252].

Причиною появи змін у готовій продукції можуть бути сировина, інгредієнти та напівфабрикати, допоміжні матеріали, скляна тара, обладнання, порушення технологічного процесу [250-252].

Згідно з Законом України «Про питну воду та водопостачання» вода питна — вода, призначена для споживання людиною, для використання споживачами для задоволення фізіологічних, санітарно-гігієнічних, побутових та господарських потреб, а також для виробництва продукції, що потребує її використання, склад якої за органолептичними, мікробіологічними, паразитологічними, хімічними, фізичними та радіаційними показниками відповідає гігієнічним вимогам. У 2022 році прийнято Закон України «Про Загальнодержавну цільову соціальну програму «Питна вода України» на 2022—2026 роки», спрямований на реалізацію державної політики щодо забезпечення населення і підприємств якісною водою та удосконалення існуючих установок водоготування.

Для виробництва лікєро-горілочаної продукції в першу чергу визначають джерело водопостачання, вода питна з якого за органолептичними, фізико-хімічними, санітарно-токсикологічними, мікробіологічними та радіологічними показниками повинна відповідати існуючим на цей час вимогам безпеки. В Україні якість води питної регламентується вимогами ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».

До води підготовленої, яку використовують в лікєро-горілочаному виробництві, пред'являються більш високі вимоги, тому що від мікрокомпонентного складу значною мірою залежить якість готової продукції.

Вимоги до якості і безпечності підготовленої води для виробництва лікєро-горілочної продукції в Україні змінювалась відповідно до підвищення вимог до стійкості горілок та лікєро-горілочаних напоїв, удосконалення способів та установок водопідготовки. На сьогодні вимоги до води підготовленої для виробництва горілок, горілок особливих, лікєро-горілочаних напоїв, в тому числі слабоалкогольних, регламентуються СОУ15.37-237 «Вода підготовлена для лікєро-горілочного виробництва. Технічні умови».

Вода підготовлена за зовнішнім виглядом повинна бути безбарвною, мати кристалеий блиск і не повинна містити часток зважених речовин [251, 252].

Підготовлена вода це розчин солей, що містять [251, 252]:

- катіони калію, натрію, кальцію, магнію, заліза, марганцю;
- аніони хлоридів, сульфатів, орто- і поліфосфатів, карбонатів і гідрокарбонатів, силікатів, нітратів, нітритів;
- розчинені гази: кисень, вуглекислий газ, аміак і інші.

Розчинені мінеральні речовини впливають на смак та присмак підготовленої води та готової продукції [251, 252]:

- ✓ хлорид натрію надає солонкуватий присмак,
- ✓ сульфати натрію і магнію — гіркуватий присмак,
- ✓ сульфат кальцію і солі цинку — в'язучий присмак,
- ✓ квасці — кислуватий присмак,
- ✓ солі заліза, марганцю і міді — металевий та залістий присмаки

Вода підготовлена не повинна містити речовин, які надають їй запахи та присмаки хлору, хлорфенолів, хлорамінів, сірководню, домішок промислових стоків (фенольних, смолистих, нафтових), а також продуктів обміну та відмирання мікроорганізмів й органічних сполук, які є причинами болотистого, гнилісного, деревного, землистого, трав'яного, плісняви та інших запахів та присмаків [250-252].

Смак підготовленої води повинен бути нейтральним. Не допускається наявності у підготовленій воді [250-252]:

- гіркоти, що свідчить у понаднормативний вміст сульфатів кальцію та магнію),
- солонуватого смаку (збільшений вміст хлориду натрію),
- кислого смаку (значна кількість розчинного діоксиду вуглецю, фосфатів).

Підвищений вміст кисню повітря та органічних речовин у підготовленій воді негативно впливає на смак і запах води, сприяє утворенню опалесценції і каламуті, що призводить до утворення осадів та зменшенню стійкості напоїв [250-252].

Присутність азотовмісних сполук (нітратів, нітритів, аміаку) і сірководню негативно впливають на погіршення прозорості і забарвленості, запахом і смаком [250-252]

Вода з підвищеним вмістом органічних та мінеральних сполук може сприяти утворенню пластівців та волокнистих часток у готовій продукції, кільця на шийці пляшки [250-252].

Значно впливають на смак води і готової продукції мінеральні речовини, при цьому гідрокарбонати натрію та калію в оптимальних кількостях відіграють позитивну роль, маскують пекучість і пом'якшують смак, округлюють аромат мікродомішок сивушного масла і альдегідів у горілках і горілках особливих. Підвищений вміст гідрокарбонатів води у слабоалкогольних напоях погіршують їх смак з наданням содового присмаку, викликають зміну кислотності та додаткову витрату лимонної кислоти на нейтралізацію лужності [250-252].

Під час зберігання горілок і горілок особливих, які було приготовлено на основі підготовленої води з високою лужністю (понад 4 моль/м³) спостерігається, при зберіганні, вилужування силікатів зі скла пляшки з утворенням кільця на границі поділу фаз скло-рідина-повітря, а також осаду на внутрішній поверхні.

Карбонати у підготовленій воді не допускаються, оскільки вони є важкорозчинними і утворюють осади у лікєро-горілчаній продукції протягом місяця зберігання [250-252].

Одним з найважливіших критеріїв оцінки якості підготовленої води є показник жорсткості, оскільки використання води з підвищеним значенням цього показника призводить до опалесценції у горілках та лікєро-горілчаних напоях, зміни їх зовнішнього виду при утворенні осадів важкорозчинних солей. Це пояснюється зменшенням розчинності та утворенням осаду кальцієвих і магнієвих солей під час приготування водно-спиртової суміші. У лікєро-горілчаних напоях кальцієві і магнієві солі реагують з пектиновими і дубильними речовинами соків спиртованих, морсів та екстрактів спиртових і утворюють нерозчинні сполуки, які призводять до утворення пластівців і випадання їх у осад. Ці процеси протікають повільно, тому утворення осаду спостерігається після двох-трьох місяців зберігання готової продукції. Кальцій і магній у невеликих кількостях надають підготовленій воді повноти смаку, зменшують пекучість горілок і горілок особливих, у значних — надають гіркового смаку і терпкого присмаку, утворюють осад в лікєро-горілчаній продукції [250-252].

Використання підготовленої води з підвищеним вмістом заліза і марганцю, призводить до зміни кольору та інтенсивності забарвлення як горілок так і лікєро-горілчаних напоїв, утворення каламуті та опалесценції, набуття металевого присмаку, зменшення стабільності готової продукції з випаданням у осад чорно-бурих пластівців. Солі заліза і марганцю вступають у реакцію з дубильними речовинами соків спиртованих, екстрактів, морсів та настоїв спиртових викликають зміну забарвлення (вицвітання і потемніння напоїв) та утворенням осадів [251, 252].

Хлориди додають підготовленій воді повноту смаку, а в горілках і горілках особливих пом'якшують і округлюють їх смак. За високого вмісту хлоридів калію спостерігається гіркий смак, хлоридів натрію — солонувато-гіркий присмак [251, 252].

Солі сульфатів обмежено розчинні у воді, тому при тривалому зберіганні готової продукції надають терпкого або гіркуватого смаків і випадують в осад [251, 252].

Для забезпечення стійкості лікєро-горілочаної продукції, яка має значний термін придатності (для горілок - не менше 24 місяців), особливий вплив має вміст силікатів і фосфатів у підготовленій воді. Силікати, як знаходяться у колоїдному стані, адсорбують на своїй поверхні барвні речовини напоїв і під час зберігання колоїди осідають на стінках пляшок у вигляді осаду. Солі жорсткості, які взаємодіють із силікатами та фосфатами є причиною появи осадів в лікєро-горілочаній продукції. Фосфати у кислому та слабоекислому середовищі надають горілкам і горілкам особливим кислого смаку, у слаболужному та лужному — мильного присмаку та утворюють осадиди [251, 252].

Під час виробництва лікєро-горілочаної продукції токсичні домішки потрапляють із водою, рослинною і плодово-ягідною сировиною, яку використовують у приготуванні морсів, настоїв та екстрактів спиртових.

Свинець та його солі є помірно токсичними сполуками, а за органолептичними показниками спостерігається металевий присмак у воді за вмісту понад 0,03 мг/дм³ [251, 252].

Мідь та її сполуки надають воді підготовленій неприємного терпкого присмаку, збільшує її забарвленість та зменшує прозорість [251, 252].

Алюміній у воді підготовленій може знаходитись у вигляд сульфатів та гідратованих алюмосилікатів, що збільшують каламутність готової продукції та утворюють осадиди в ній [251, 252].

Таким чином катіонно-аніонний склад підготовленої води має істотне значення на дегустаційну оцінку та стабільність горілок та лікєро-горілочаних напоїв.

У зв'язку з цим виникло питання та проведено дослідження щодо гранично-допустимих концентрацій мікродомішок, підвищений вміст яких сприяє утворенню вищевказаних осадів.

Було встановлено, що найвищу стійкість (до 60 місяців) та смак (4 бали) мають:

➤ горілки міцністю 25,0–56,0 % за загальної жорсткості підготовленої води менше ніж 0,1 моль/м³;

➤ при внесенні у лікєро-горілочаний напій лимонної та винної кислот за загальної жорсткості підготовленої води понад $0,1 \text{ моль/м}^3$ спостерігається випадання осаду виннокислого та лимоннокислого кальцію;

➤ під час внесення в купаж лікєро-горілочаних напоїв соків плодово-ягідних спиртованих, спиртових морсів і екстрактів плодово-ягідних, настоїв спиртових на основі рослинної сировини за жорсткості підготовленої води понад $0,1 \text{ моль/м}^3$ спостерігалось утворення осадів у складі якого було виявлено пектати кальцію і магнію, терпенові сполуки у кількості, яка була пропорційна значенню жорсткості.

Встановлено, що вміст сульфатів у воді підготовленій не може перевищувати 80 мг/дм^3 за загальної твердості води — $0,1 \text{ моль/м}^3$. Найвищу стійкість 55–72 місяці мають горілки міцністю 40–56 % за вмісту сульфатів не більше, ніж $40\text{--}50 \text{ мг/дм}^3$. У разі збільшення значення жорсткості води підготовленої понад $0,1 \text{ моль/м}^3$ спостерігається випадання осаду сульфату кальцію і зменшення стійкості лікєро-горілочаної продукції..

Найвищу дегустаційну оцінку 9,7–9,8 бали мають горілки, приготовлені на основі спирту етилового ректифікованого сорту Пшенична сльоза, Люкс та Екстра та води підготовленої з вмістом сульфатів не більше $30\text{--}40 \text{ мг/дм}^3$. Для горілок, приготовлених на основі спирту етилового ректифікованого сорту Вищої очистки зернового та із меляси, підготовленої води з вмістом сульфатів $50\text{--}80 \text{ мг/дм}^3$ найвища дегустаційна оцінка становить 9,6–9,7 бали.

Встановлено, що за загальної лужності води підготовленої менше ніж $2,0 \text{ моль/м}^3$ стійкість горілок і горілок особливих становить не менше 60 місяців, настоянок — не менше 24 місяців, слабоалкогольних напоїв — не менше 12 місяців. Зі збільшенням лужності підготовленої води від $2,0$ до $4,0 \text{ моль/м}^3$ зменшується стійкість до 3–6 місяців при цьому спостерігається випадання осадів.

Дегустаційна оцінка підвищується на $0,1\text{--}0,2$ бали під час виготовлення горілок і горілок особливих на основі спирту етилового ректифікованого на основі крохмалєвмісної сировини сорту:

- «Пшенична сльоза», «Люкс» і «Екстра» за лужності підготовленої води 0,5–1,5 моль/м³,
- «Вищої очистки» за лужності 2,0–3,5 моль/м³.

Встановлено, що за вмісту хлоридів у підготовленій воді понад 50,0 мг/дм³ відчувається неприємний солонкуватий присмак, в за масової концентрації менше ніж 0,5 мг/дм³ — немає смаку. Найвищу дегустаційну оцінку 9,7–9,8 бали мають горілки, приготовлені на зерновому спиртї сорту:

- «Пшенична сльоза», «Люкс» та «Екстра» за вмісту хлоридів у підготовленій воді 20,0–60,0 мг/дм³,
- «Вищої очистки» за вмісту хлоридів у підготовленій воді 40,0–80,0 мг/дм³.

Лікero-горілчані, в т.ч. слабоалкогольні напої мають найвищу дегустаційну оцінку 9,65–9,8 бали за вмісту хлоридів у підготовленій воді 0,5–80,0 мг/дм³.

Середнє збільшення масової концентрації альдегідів у перерахунку на оцтовий у водно-спиртової суміші становить не більше 0,2 мг/дм³ б.с. унаслідок окислення спирту домішками заліза та марганцю за їх вмісту менше 0,05 мг/дм³ та алюмінію менше 0,1 мг/дм³. У разі збільшення вмісту заліза, марганцю і алюмінію понад вказаний, середній приріст масової концентрації альдегідів у водно-спиртовій суміші збільшується у 2...8 разів, що негативно впливає на якість та органолептичну оцінку горілок та горілок особливих, надаючи їм пекучості та різкості.

За вмісту заліза, марганцю менше 0,05 мг/дм³, алюмінію — 0,10 мг/дм³ прозорість лікero-горілчаної продукції залишається стабільною та становить 99–100 %, що відповідає вимогам чинного виробничого технологічного регламенту. У разі підвищення вмісту заліза, марганцю і алюмінію понад вказаний прозорість горілок та лікero-горілчаних напоїв погіршується на 8–15 %, негативно впливає на зовнішній вигляд та не відповідає встановленим чинному стандартизованому значенню — не більше 0,005 одиниць оптичної густини.

При перевищенні вмісту заліза і марганцю понад $0,05 \text{ мг/дм}^3$ і алюмінію понад $0,10 \text{ мг/дм}^3$ смак горілок погіршується на $0,1\text{--}0,5$ бали, а прогнозована стійкість готової продукції зменшується у $1,5\text{--}3$ рази.

На якість лікєро-горілкової продукції впливають присутні у воді підготовленій продукти розкладання органічних і легкоокислюючих неорганічних домішок, кількість яких оцінюється показником перманганатної окиснюваності. Визначено, що зі збільшенням значення перманганатної окиснюваності понад $2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ погіршується прозорість (на $2\text{--}10\%$), смак та запах (на $0,2\text{--}0,5$ бали) води підготовленої та водно-спиртової суміші, а на стінках пляшок з напоями утворювалась колоїдна плівка, викликана наявністю гумінових речовин.

Досліджено вплив перманганатної окиснюваності води підготовленої на приріст масової концентрації альдегідів та зміну окиснюваності водно-спиртової суміші протягом строку придатності до зберігання для горілок. Визначено, що масова концентрація альдегідів у перерахунку на оцтовий водно-спиртової суміші збільшується зі збільшенням значення перманганатної окиснюваності води підготовленої: за окиснюваності $0,5\text{--}2,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ середній приріст становить менше $0,5 \text{ мг/дм}^3$ б.с., за окиснюваності більше $2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ середній приріст становить $0,7\text{--}1,5 \text{ мг/дм}^3$ б.с., що погіршує якість готової продукції.

Показано, що окислюваність водно-спиртової суміші, приготованої на воді підготовленій з окиснюваністю понад $2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, зменшувалась на $0,5\text{--}3$ хв. на $1 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$.

Таблиця 1.

Середній приріст масової концентрації альдегідів та середнє зменшення окислюваності водно-спиртової суміші протягом гарантійного строку зберігання від перманганатної окиснюваності води ідготовленої

Значення показника, одиниця виміру	Значення перманганатної окиснюваності води підготовленої, мг O ₂ /дм ³					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Середній приріст масової концентрації альдегідів у перерахунку на оцтовий альдегід, мг/дм ³ б.с.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,8	1,5
Середнє зменшення показника окислюваності ВСС за температури 20° С, хв.	0,2	0,5	0,7	1,0	1,7	3,0

Встановлено, що водно-спиртові суміші, приготовлені на підготовленій воді з окиснюваністю понад 2 мгO₂/дм³, мають меншу стійкість у 1,5–2 рази, а дегустаційну оцінку на 0,2–0,4 бали.

Встановлено, що за масової концентрації нітратів у підготовленій воді понад 5,0 мг/дм³ та аміаку понад 0,1 мг/дм³ дегустаційна оцінка водно-спиртової суміші погіршується на 0,1–0,15 бали; прозорість — на 3–10%, стійкість зменшується у 1,5–2 рази.

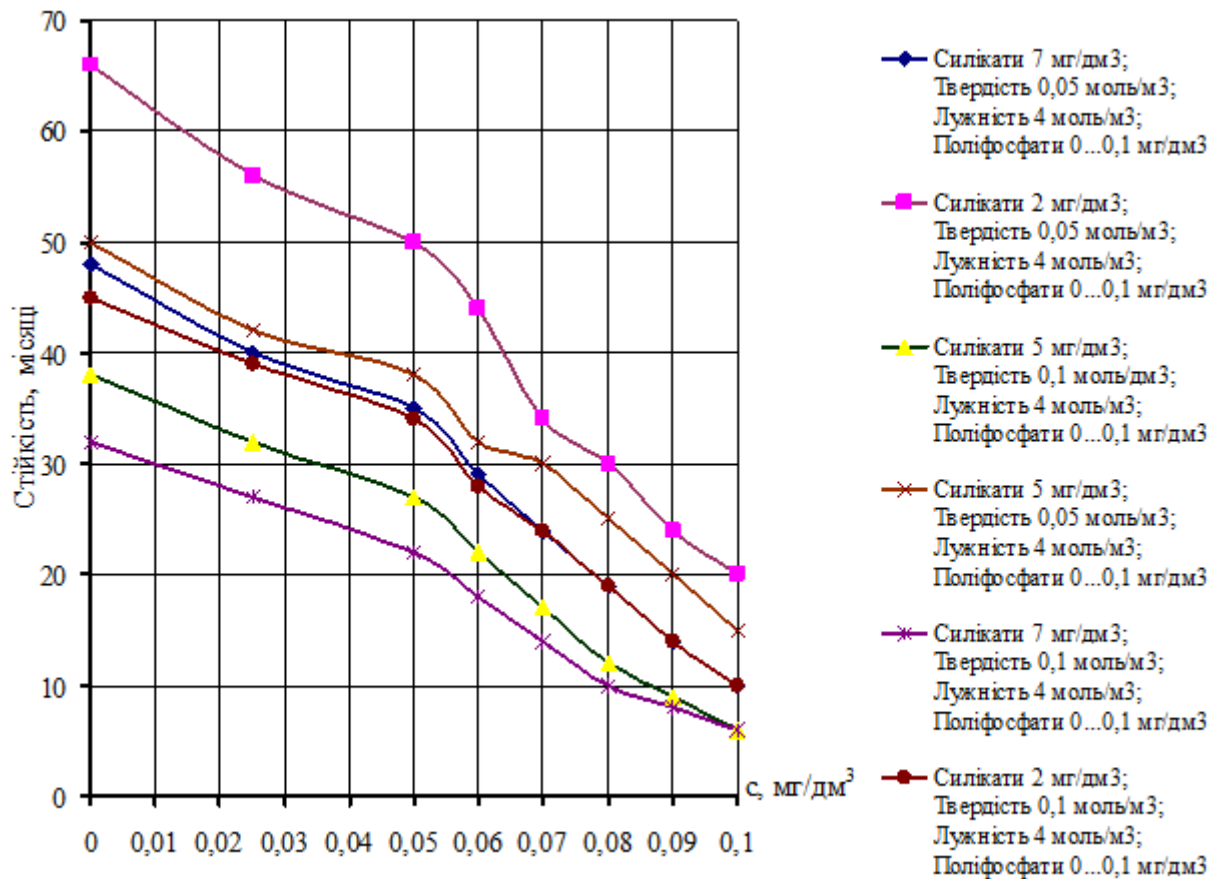
Поява осадів та помутніть у лікєро-горілчаній продукції виникає за різних причин, в тому числі внаслідок порушення в алкогольному середовищі співвідношення солей, що містяться у воді підготовленій. Ці солі можуть реагувати з кислотами та лугами, які входять, як інгредієнт, до складу купажу лікєро-горілчаного напою. Інгредієнти та підготовлена вода з високим вмістом натрію мають агресивний характер до споживчої тари, у яку здійснюється розлив готової продукції, при цьому проходить активна взаємодія між склом або порцеляною споживчого посуду і після 2–5 місяців спостерігається випадання

осаду. Кремнієва кислота реагує з лужними іонами води, з утворенням силікату натрію, який погано розчинний у водно-спиртовій суміші та випадає у вигляді пластівцевого, голчастого, пластівцево-творожистого, скловидного осаду, безбарвного з металевим блиском, білого та коричневого кольору. За водневого показника підготовленої води рН 6,5–8 усі види кремнієвої кислоти утворюють колоїдні розчини. Силікати кальцію, магнію, алюмінію є малорозчинними у воді і кремнієва кислота, знаходяться, в основному, у вигляді колоїдів або суспензій, а за значення водневого показника рН понад 8,0 є в істинно розчинному стані (HSiO_3^-), якщо твердість води є незначною.

Для збільшення строку придатності горілок та горілок особливих, ніж встановлений ДСТУ 4256:2003 граничний вміст силікатів у воді підготовленій не може перевищувати $5,0 \text{ мг/дм}^3$ за загальної жорсткості $0,1 \text{ моль/м}^3$, причому загальна лужність не повинна перевищувати 2 моль/м^3 .

Під час зберігання горілок та горілок особливих, приготовлених на основі води підготовленої з загальною лужністю понад $4,0 \text{ моль/м}^3$ та вмістом поліфосфатів і ортофосфатів $0,05 \text{ мг/дм}^3$ спостерігався приріст вмісту силікатів у розчині понад два рази з наступним відкладанням осаду на внутрішній поверхні скляної тари та утворенням кільця на межі наливу.

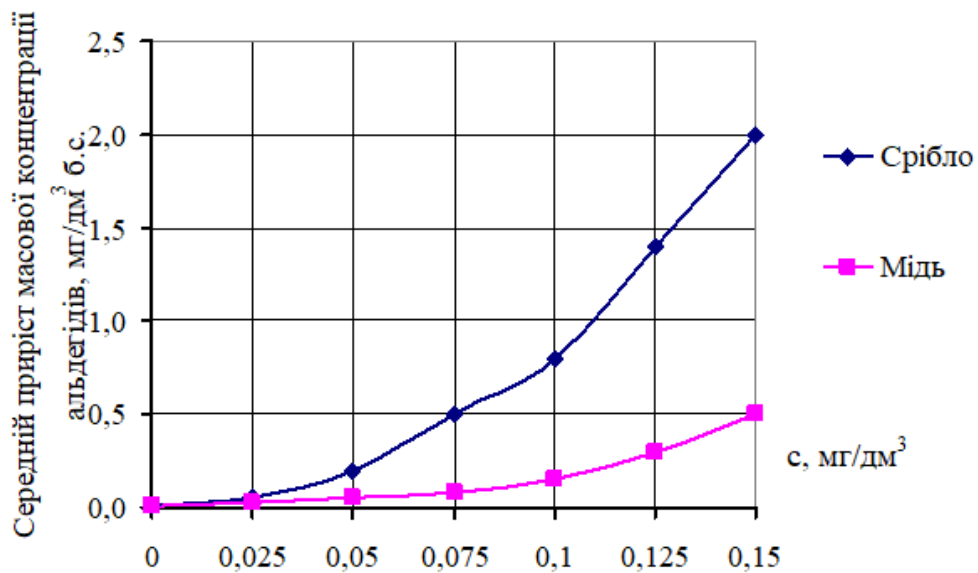
Встановлено (малюнок 1), що стійкість становила 60–75 місяців для водно-спиртової суміші міцністю 37,5–56%, приготовленій на основі води підготовленої з вмістом полі- та ортофосфатів $0,05 \text{ мг/дм}^3$ та жорсткістю до $0,1 \text{ ммоль/дм}^3$. Збільшення жорсткості підготовленої води понад $0,1 \text{ моль/м}^3$ та вмісті полі- та ортофосфатів понад $0,05 \text{ мг/дм}^3$ стійкість горілок та лікеро-горілчаних напоїв зменшується більш ніж у два рази. Виявлено, що стійкість горілок та горілок особливих міцністю 37,5–56%, приготовлених на підготовленій воді з вмістом поліфосфатів, ортофосфатів $0,05 \text{ мг/дм}^3$ та силікатів менше $5,0 \text{ мг/дм}^3$ становила 48–56 місяців, що в 2–2,3 рази перевищує строк придатності встановлений чинним національним стандартом.



Малюнок 1. Залежність стійкості ВСС, міцністю 40% від твердості, лужності, вмісту поліфосфатів та силікатів у воді підготовленій

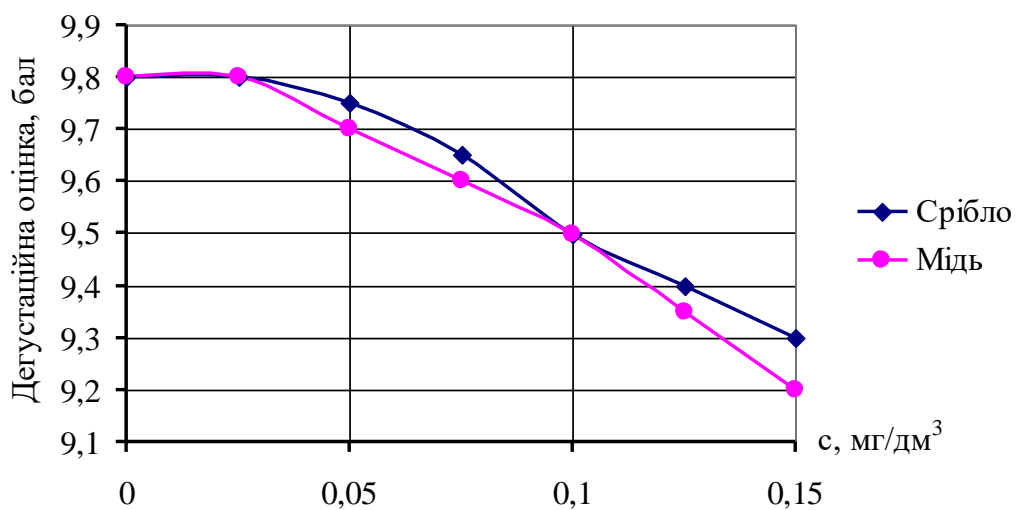
Для інтенсифікації адсорбційних та окисно-відновних процесів на лікеро-горілчаних заводах в системах водоготування застосовують сорбційний метод за допомогою активного вугілля, імпрегнованого сріблом та метод знезараження іонаторами. Специфічна хімічна властивість срібла — здатність легко утворювати колоїдний розчин при відновленні іонів срібла або при його диспергуванні із компактного металу. Золі срібла забарвлені від фіолетового до оранжевого кольору в залежності від розміру часток металу та способу одержання золю. Залишкова кількість срібла, яка може мігрувати у воду підготовлену під час застосування цих методів може становити 0,01–0,1 мг/дм³.

Встановлено (малюнок 2), що за масової концентрації срібла у воді підготовленій менше ніж 0,05 мг/дм³ і міді менше ніж 0,1 мг/дм³ спостерігається найменший приріст у водно-спиртовій суміші масової концентрації альдегідів у перерахунку на оцтовий, який не перевищує 0,5 мг/дм³ б.с.



Малюнок 2. Залежність середнього приросту масової концентрації альдегідів (у перерахунку на оцтовий) протягом строку придатності горілки від вмісту срібла, міді у підготовленій воді

У разі збільшення вмісту срібла і міді у підготовленій воді спостерігається збільшення середнього приросту у водно-спиртовій суміші масової концентрації альдегідів у перерахунку на оцтовий в безводному спирту — понад 2 рази, при цьому прозорість зменшується на 3–5 % та 8–10 % відповідно, а дегустаційна оцінка погіршується на 0,3–0,5 бали (малюнок 3).



Малюнок 3. Вплив вмісту срібла або міді у підготовленій воді на дегустаційну оцінку ВСС міцністю 40%

Встановлено, що (табл. 2) застосування води підготовленої з визначеними раціональними показниками (дослід) підвищує дегустаційну оцінку на 0,2–0,3 бали, стійкість горілок, приготовлених на спирті етиловому ректифікованому сорту «Люкс» у 3 рази, на спирті сорту «Вищої очистки» — у 2 рази.

Таблиця 2

Вплив води підготовленої на якість та стійкість горілок, приготованих на основі різних сортів спирту етилового ректифікованого

Показник згідно з ДСТУ 4256:2003 та одиниця виміру	Значення показника для горілок, приготованих зі спирту сорту					
	«Люкс»			«Вищої очистки»		
	вимоги ДСТУ 4256	конт- рольної	дослідної	вимоги ДСТУ 4256	контроль- ної	дослід- ної
1	2	3	4	5	6	7
Прозорість, %	-	95	100	-	95	100
Дегустаційна оцінка, бал	-	9,6	9,9	-	9,6	9,8
Міцність, %	40	40	40	40	40	40
Об'єм соляної кислоти $c(\text{HCl})=0,1$ моль/дм ³ , витрачений на титрування 100 см ³ горілки, см ³	не більше 3,5	2,4	1,0	не більше 3,5	2,4	2,4
Об'ємна частка метилового спирту, в перерахунку на безводний спирт, %	не більше 0,01	0,005	0,005	не більше 0,03	0,005	0,005
Масова концентрація в безводному спирті, мг/дм ³						
альдегідів в перерахунку на оцтовий	не більше 4,0	3,3	2,5	не більше 8,0	6,5	5,2
естерів в перерахунку на оцтовоетиловий естер	не більше 2,0	1,3	0,8	не більше 5,0	2,2	1,2

Закінчення таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7
сивушного масла в перерахунку на суміш (1:1) ізоамілового і ізобутилового спиртів	не більше 2,0	1,0	1,0	не більше 4,0	1,5	1,5
Вміст у перерахунку на воду, мг/дм ³						
кальцію	-	0,9	0,5	-	1,8	1,7
магнію	-	0,7	0,5	-	1,6	1,7
силікатів	-	6,5	5,0	-	7,0	5,0
фосфатів	-	0,08	0,05	-	0,1	0,05
хлоридів	-	80	28	-	80	65
сульфатів	-	95	50	-	92	78
нітратів	-	39	5,0	-	39	5,0
нітритів	-	1,9	0,1	-	1,9	0,1
аміаку	-	0,3	0,1	-	0,3	0,1
заліза	-	0,09	0,05	-	0,09	0,05
марганцю	-	0,09	0,05	-	0,09	0,05
Прогнозована стійкість, місяці	24	24	60	24	24	48

Встановлено, що показник прозорості для слабоалкогольних напоїв покращується на 7%, лікєро-горілочаних – на 4% та горілок на 5% (табл. 2, 3).

Таблиця 3.

Вплив підготовленої води на органолептичні, фізико-хімічні показники та стійкість слабоалкогольного напою та лікєро-горілочаного напою

Показник згідно з ДСТУ 4257:2003, ДСТУ 4258:2003, одиниця виміру	Значення показника для слабоалкогольного напою		Значення показника для лікєро-горілочаного напою	
	контрольного	дослідного	контрольного	дослідного
1	2	3	4	5
Прозорість, %	93	100	96	100
Дегустаційна оцінка, бал	9,6	9,8	9,6	9,8
Міцність, %	5	5	40	40
Масова концентрація загального екстракту, г/100 см ³	9,20	9,20	3,3	3,3

Закінчення таблиці 3

1	2	3	4	5
Масова концентрація кислот у перерахунку на лимонну кислоту, г/100 см ³	0,10	0,10	0,10	0,10
Вміст у перерахунку на воду, мг/дм ³ :				
кальцію	1,8	1,7	1,8	1,7
магнію	1,6	1,7	1,6	1,7
силікатів	7,0	5,0	7,0	5,0
ортофосфатів	0,1	0,05	0,1	0,05
поліфосфатів	0,1	0,05	0,1	0,05
хлоридів	80	80	80	80
сульфатів	100	100	100	100
нітратів	40	5	40	5
нітритів	2	0,1	2	0,1
аміаку	0,2	0,1	0,2	0,1
заліза	0,1	0,05	0,1	0,05
марганцю	0,1	0,05	0,1	0,05
Прогнозована стійкість, місяці	9	18	6	12

Встановлено (табл. 3), що застосування води підготовленої з визначеними раціональними показниками (дослід) підвищує дегустаційну оцінку лікєро-горілочаних напоїв на 0,2 бали, і їх стійкість, в тому числі слабоалкогольних у 2 рази.

Вода підготовлена, що відповідає встановленим вимогам, дозволяє зберегти стабільність лікєро-горілочної продукції під час їх тривалого зберігання, що є важливим, оскільки в нових редакціях ДСТУ 4256 «Горілки і горілки особливі. Технічні умови», ДСТУ 4257 «Напої лікєро-горілочані. Технічні умови», ДСТУ 4258 «Напої слабоалкогольні. Загальні технічні умови» строк придатності горілок і горілок особливих встановлює виробник (розробник рецептури) і зазначає в рецептурах або технологічних інструкціях на виробництво горілок, горілок особливих та лікєро-горілочаних, в тому числі слабоалкогольних. Строк придатності лікєро-горілочної продукції не повинен перевищувати її прогнозовану стійкість.

Виробники, виготовляючи готову продукцію, під час техно-хімічного контролю не обмежуються визначенням фізико-хімічних показників якості, а приділяють значну увагу сенсорному оцінюванню сировини (підготовленої води, спирту етилового ректифікованого), напівфабрикатів та інших інгредієнтів. Конкурентноспроможною може бути тільки та лікєро-горілочана продукція, що має високими дегустаційні характеристики, бо саме так її оцінює споживач.

Окрім води підготовленої іншою важливою сировиною під час виробництва лікєро-горілочаної продукції є спирт етиловий ректифікований. Від його мікрокомпонентного складу та дегустаційної оцінки залежить якість готової продукції лікєро-горілочаного виробництва.

Ректифікація спирту є важливою кінцевою стадією отримання спирту етилового ректифікованого. Складність цього процесу обумовлена складом дозрілої бражки, яка являє собою багатофазну і багатокомпонентну систему. Її основу складає водно-спиртовий розчин об'ємною часткою спирту 9–15% і супутніх йому летких мікродомішок. Крім того, в бражці містяться зважені частки лушпиння дробини, дріжджові клітини і колоїди, а також розчинені речовини: незброджений цукор, декстрини, амінокислоти і азотисті речовини, клітковина, мінеральні солі. Під час перегонки в дистилят переходять леткі домішки, що впливають на перегонку і ректифікацію спирту [251, 253, 255].

Склад домішок етилового спирту дуже різноманітний і складний. Згідно з дослідженнями, в спирті етиловому, отриманому із різної сировини, знайдено понад 400-600 домішок, із них, за поєднання методів газової хроматографії, ІК-спектроскопії з Фур'є-перетворенням та мас-спектроскопії, ідентифіковано лише біля 10 % сполучень [253].

Природа мікродомішок є різноманітною. Домішки етилового спирту утворюються під час бродіння, в процесі хімічних перетворень під час теплової обробки сировини (метанол, фурфурол) або під час перегонки, ректифікації і зберіганні (ацеталі, кротоновий альдегід, деякі естери). Більша частина домішок утворюється під час бродіння, що пов'язано із життєдіяльністю дріжджів і

мікроорганізмів-контамінантів. Це, перш за все, вищі насичені спирти: пропіловий, ізобутиловий, ізоаміловий та інші, а також кислоти, ефіри, альдегіди, діацетил, ацетон. Причиною утворення деяких домішок, таких як ізопропіловий спирт, кротоновий альдегід і етилбутират, є інфікованість сировини маслянокислими бактеріями [253-257]

На сьогодні в горілках ідентифіковано біля 280 мікрокомпонентів, природа яких є різною. Частина мікродомішок утворюється під час теплової обробки сировини (спирт метиловий); під час перегонки та ректифікації спирту, його зберіганні (ацеталі, кротоновий альдегід, естери). На сьогодні уточнено природу багатьох мікродомішок спирту. Переважна більшість мікрокомпонентів (по Ж. Рібейро-Гайону) утворюється в зброженому середовищі як метаболіти дріжджів [253-257].

Органічні домішки, що є супутніми етиловому спирту, зазвичай поділяють на групи відповідно до їх хімічної природи (спирти, кислоти, альдегіди, естери, азотисті та сірковмісні сполуки), а також їх розподілу під час ректифікації (головні, проміжні, хвостові домішки) [253-256].

Ароматичні мікрокомпоненти у спиртних напоях формують характерні сенсорні властивості, за якими дегустатори знаходять відмінності в ароматах (букетах). До них відносяться побічні продукти: вищі спирти, жирні кислоти, естери, альдегіди, діацетил і ацетон та інші.

Утворення вищих спиртів пов'язане з ростом дріжджів, накопиченням їх біомаси (синтезом амінокислот) та тривалістю бродіння. Якісний склад спиртів залежить від виду та ізотонічного складу дріжджів, при цьому різні штами дріжджів утворюють різні кількості та співвідношення вищих спиртів [253, 257, 258].

Утворення побічних продуктів залежить від складу середовища, вмісту азоту та вуглецю, умов культивування дріжджів та їх генетичних особливостей. Якщо зміни у середовищі призводять до часткового інгібування ферментативної активності дріжджів, у середовищі накопичуються проміжні продукти, які у

циклі спиртового бродіння є попередниками сивушних спиртів та інших летких мікродомішок [251, 253].

Під час виробництва спирту етилового з цукровмісної сировини на склад та вихід сивушного масла впливає зміна складу меляси, а також добавок мінерального азотного живлення. Склад сивушного масла змінюється в залежності від виду та якості сировини, що переробляється на спирт, виду дріжджів та технологічних умов зброджування.

Вищі спирти є побічними продуктами спиртового бродіння, причому найбільша кількість мікрокомпонентів сивушного масла накопичується під час переробки дефектної зернової сировини. Неприємні задушливі та різкі сивушні запахи мають бутиловий, ізобутиловий та ізоамілові спирти. Ізопропіловий та пропіловий спирти в розбавлених розчинах мають слабкі масляно-квіткові тони або з відтінком сірчаного ефіру без особливої пекучості у смаку. У спирті етиловому ректифікованому та горілках ці мікродомішки мають мало відчутні тони, навіть за порівняно високих концентрацій 0,5–1,0 г/дм³ б.с. [251, 253].

До спиртових мікрокомпонентів дистилятів відноситься також метиловий спирт. У середньому його концентрація в продуктах перегонки перерахунку на безводний спирт становить 0,05–0,5% (іноді до 1,2%). Метанол практично не впливає на органолептичні показники готової продукції, але має дуже високу токсичність [251, 253-256].

Метиловий спирт є характерною домішкою етилового спирту, виробленого із рослинної сировини. Метиловий спирт утворюється, переважно, під час теплової обробки сировини в результаті термічного та біохімічного розщеплення пектинових речовин з утворенням метанолу та пектинової кислоти. Незначна його частина утворюється під час спиртового бродіння у процесі водно-теплової обробки сировини внаслідок термічного та біохімічного розщеплення пектинових речовин. Згідно з ДСТУ 4221 «Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови» у спирті етиловому ректифікованому найвищої якості «Пшенична сльоза» регламентовано об'ємну частку метанолу - 0,005 %. В Чехії, Словаччині, Фінляндії, Німеччині і Франції виготовляють

спирт етиловий ректифікований, який зовсім не містить метанолу або його концентрація становить 5,0-50,0 мг/дм³ б.с. [253, 257]

Синтез жирних кислот пов'язаний з азотним обміном, синтезом амінокислот, розмноженням та зростанням дріжджових клітин.

Ідентифіковано понад 20 різних кислот. Встановлено, що спирт етиловий із зернової сировини та дистиляти із зернової і плодово-ягідної сировини містять від 100 мг/дм³ б.с. до 800 мг/дм³ б.с. летких кислот, у найбільшій кількості оцтову кислоту — до 95% від їх загального вмісту. Висококиплячі та малолеткі компоненти (капронова, енантова, каприлова кислоти) при задовільній ректифікації не повинні потрапляти в спирт ректифікований [251, 253, 255].

Леткі кислоти (оцтова, масляна, ізомасляна, пропіонова, валеріанова та ін.) є продуктами життєдіяльності дріжджів, а також мікроорганізмів що інфікують бражку. Чим вища культура виробництва, тим менше кислот міститься у зрілій бражці. Навіть незначна кількість цих сполук у готовому продукті різко погіршує його дегустаційну оцінку: пропіонова кислота надає спирту гіркоту; масляна, ізомасляна та валеріанова — запах поту і тривалий неприємний «післясмак» [251, 255].

Естери (етилацетат, пропіловий ефір ізомасляної кислоти, ізобутиловий ефір масляної кислоти та ін.) є продуктами взаємодії спиртів і кислот в бражці. Ці сполуки утворюються на стадіях бродіння, дріжджогенерації, брагоректифікації і надають спирту етиловому невластивого йому фруктового або квіткового запаху.

Естери це переважно продукти ферментативних процесів дріжджів. Підвищення концентрації вихідного сусла та температури зброджування збільшує накопичення естерів. Їх утворенню сприяє прискорення зброджування за рахунок безперервності потоку, перемішування та аерації сусла, хоча збільшення засівних дріжджів зменшує утворення етилацетату.

Група естерів є найбільшою і належить до ароматичних речовин напоїв, формує їх смак і запах. В зразках епюрату було ідентифіковано естери масляної

та валеріанової кислот; в ректифікованому спирті виявлено естери оцтової, пропіонової, масляної, валеріанової, капронової, енантової та каприлової кислот.

З усіх естерів у найбільшій кількості міститься оцтово-етиловий естер. При загальному вмісті естерів у спирті-сирці від 180 мг/дм³ б.с. до 650 мг/дм³ б.с., частка оцтовоетилового естеру становить від 10% до 85%, ізоамілпропіонату та ізопропілвалеріату — від 5% до 80%. Інші естери виявлені в кількостях, які впливають на смак спирту-сирцю, продуктів ректифікації, а також спирту етилового ректифікованого [251, 253, 256].

Порівняння вмісту домішок у спирті-сирці та дистилятах зернових і плодово-ягідних вказує на майже однакову кількість естерів у перерахунку на безводний спирт. Серед естерів переважає етиловий естер оцтової кислоти — понад 90%. Вміст інших естерів не перевищує 0,2–0,5% загальної суми летких мікродомішок [253].

Кількість метилформіату, пропілпропіонату, етілізовалеріату, гексилацетату в загальній сумі ефірів становить соті частки відсотка і вони не можуть самостійно впливати на аналітичні чи дегустаційні показники напоїв чи дистилятів.

Естери оцтової та масляної кислот не найкращим чином впливають на дегустаційну оцінку етилового спирту. В зразках спирту етилового ректифікованого сорту «Пшенична сльоза» та «Люкс» виявлено слідові кількості етилацетату, етилпропіонату, а також діетилового етеру. Для спиртів з незадовільною органолептичною оцінкою характерна така мікродомішка, як етилбутират [257].

Альдегіди утворюються на різних стадіях виробництва етилового спирту: під час бродіння, водно-теплової обробки сировини, ректифікації. Серед альдегідів оцтовий альдегід складає близько 90 % та більше від їх загальної кількості. Оцтовий альдегід – продукт окисновідновної стадії бродіння, яка передує утворенню етилового спирту. Під час бродіння утворюється до 12-ти альдегідів, які містять від 2-х до 12-ти атомів вуглецю [256, 257].

Майже всі альдегіди надають спирту етиловому пекучість і терпкість. Присутність оцтового альдегіду у спирті етиловому ректифікованому супроводжується різким неприємним запахом, пропіонового — задушливим, масляного та ізовалеріанового — гострим фруктовим.

При переробці доброякісної бражки у спирті-сирці найбільше оцтового альдегіду, при використанні дефектної сировини в готовій продукції можуть з'явитися ненасичені сполуки: кротоновий альдегід і акролеїн, діацетил, що характеризуються особливо неприємним запахом і пекучим смаком. Акролеїн за хімічним впливом дуже активний і легко полімеризується з утворенням гірких смол. Діацетил є характерною домішкою спирту з меляси. Його присутність пояснюють неприємний запах і смак спирту [255-257].

У зброженому суслі вміст оцтового альдегіду становить 160–300 мг/дм³ б.с. Концентрація інших альдегідів невелика. При тепловій обробці крохмалевмісної сировини акролеїн не утворюється, однак при переробці інфікованої маси без термостерилізації спостерігають його утворення. Кротоновий альдегід виявляють в дистилятах, готових напоях і ймовірним джерелом цієї шкідливої домішки є так звана кротонова конденсація оцтового альдегіду. Ацеталі було ідентифіковано в спирті ректифікованому із меляси низької якості [254-257].

Карбонові кислоти утворюються в аеробних умовах бродіння із пірвіноградної кислоти. Карбонові кислоти є хвостовими домішками і в кількості 89-92 % виводяться із брагоректифікаційної установки з бардою і лютером, 1% – з головною фракцією і 0,1-0,3 % – з ректифікованим спиртом [256, 257].

З карбонових сполук необхідно відзначити діацетил та ацетоїн. Обидві сполуки відносяться до продуктів метаболізму дріжджів. Вони впливають на якість та органолептичні оцінки напоїв, є реакційноактивними та сприяють новоутворенню мікродомішок спирту.

У спирті-сирці було виявлено наявність піридину та основ піридину та піразину. Для полегшення процесу очищення спирту ректифікованого від

піридину і піразину сивушні фракції переробляють в окремій колоні, не допускаючи повернення промивних вод в колону ректифікації [253-256].

У спирті етиловому із картоплі та жита виявлено 2,5-диметилпіразин та 2-метилпіразин, із меляси — із основ піразину переважає триметилпіразин.

У збродженому суслі та дистилятах присутні сірковмісні сполуки — сірководень, меркаптани та тіоальдегіди. Під час збродження зернового суслу утворення сірковмісних метаболітів є обмеженим. У мелясному суслі вміст сірководню та меркаптанів є більшим. Значні кількості сірки виявлено в дистилятах, отриманих за несприятливої технології внаслідок гнильного розпаду білків сировини та дріжджів. Джерелом тіоальдегідів є сировина (меляса, соки та сиропи), в якій містяться продукти сульфатації. Леткі сірчисті сполуки присутні у продуктах розварювання зерна. Основними мікрокомпонентами є сірководень, диметилсульфід; оксид сірки — виявлено в межах чутливості визначання [253-256].

У бражному дистиляті мелясного спирту в перерахунку на сірку концентрація мікродошок становить 1,5–2,5 мг/дм³ б.с.. Значна частина сірчистих сполук видаляється з бражки з вуглекислим газом та окиснюється. Важливу роль відіграють оксиди міді та заліза, які зв'язують сірку у нелеткі сполуки і таким чином виводять із дистилятів. До цього часу застосування міді для перегінної апаратури пов'язують із її активною роллю у очищенні дистиляту від сірки. Сірководень та меркаптани мають сильний та неприємний запах. Метилмеркаптан $\text{CH}_3\text{-SH}$ може бути виявлений запахом у концентрації $2\text{--}10^{-9}$ мг/дм³ б.с., тому сірчисті сполуки погіршують дегустаційну оцінку напоїв і їх необхідно видаляти із сировини та бражки [253-256].

Більша частина сірчистих сполук виводиться із брагоректифікаційної установки з лютерною водою та сивушним маслом. В ректифікованому спирті міститься невелика кількість сірковмісних сполук від 0,002 мг/дм³ до 0,008 мг/дм³ у перерахунку на безводний спирт. Проте вони значно знижують загальну органолептичну оцінку спирту етилового ректифікованого. Сірковмісні сполуки

по можливості максимально необхідно видаляти із сировини (м'яси) та бражки в процесі брагоректифікації [253, 257].

Азотисті сполуки у спирті та дистилятах представлені переважно аміаком та амінами. Аміак є продуктом розкладання азотовмісних органічних компонентів бражки, крім того, може бути внесений у готовий продукт з паром, що надходить на обігрів колон ректифікації.

Аміни жирного ряду є алкільними похідними аміаку і подібно до нього є сильними основами. Присутність азотовмісних речовин у готовій продукції знижує її дегустаційні показники (запах триметиламіну та аміаку відчувається у спирті при концентраціях 0,01 мг/дм³ б.с., а за концентрації 0,1 мг/дм³ б.с. спирт має різко виражений гнильний запах і неприємний в'язкий терпкий смак) [253-256].

У деяких зразках спирту етилового ректифікованого було знайдено аміноспирти, бутиламін, діетиламін і аміак. Як і аміни, аміноспирти мають сильні основні властивості і здатні вступати в багато реакцій. У продуктах перегонки (спирті-сирці та бражному дистиляті) вміст азотистих сполук становив від 0,4 мг/дм³ б.с. до 4,5 мг/дм³ б.с. При цьому проби із вмістом азоту менше 0,4 мг/дм³ б.с. мали задовільні дегустаційні оцінки за смаком та запахом, а при вмісті понад 0,7 мг/дм³ б.с. відчувався неприємний запах.

Велика частина азотистих домішок є хвостовими з невисокою леткістю і виділяються з сивушним маслом, 10–15% азотистих домішок представлені легкокиплячими домішками.

Визначення фізико-хімічних показників спирту етилового ректифікованого, дистилятів із зернової та цукровмісної сировини, алкогольних напоїв тощо має відмінності від визначення мікродомішок у готовій продукції. У спирті етиловому ректифікованому відсутні компоненти, особливо нелеткі, які характерні для продукції виноробної та пивоварної галузі (вуглеводів, органічних кислот, поліфенолів, антоціанів, вітамінів, пептидів та ін.), але присутні мікродомішки, що потрапляють в кінцевий продукт з вихідної сировини або під впливом технологічного процесу.

Склад і концентрація мікродомішок спирту визначаються багатьма факторами. Більшість цих мікрокомпонентів є побічними продуктами ферментативного бродіння (альдегіди, вищі спирти, карбонові кислоти) або утворюються в результаті вторинних реакцій на стадіях розварювання зернової сировини (метанол, альдегіди, терпени), брагоректифікації (альдоли, альдегіди, кетони, складні ефіри, фурани, поліфункціональні сполуки та ін.), зберігання готової продукції (альдегіди, кетони, естери, поліфункціональні сполуки), ряд контамінантів вноситься у виробничий цикл з неякісною сировиною, допоміжними матеріалами, парою і технологічною водою (азотисті і сірчисті речовини, неорганічні солі та ін.) [260].

Домішки, навіть у мікрокількостях, здатні впливати на дегустаційні показники алкогольної продукції. Майже всі альдегіди надають спирту та напоям терпкість, в'язкість та пекучість у смаку; наявність карбонових кислот, ненасичених, азотистих, сірчистих сполук супроводжується погіршенням запаху, появою гіркоти, терпкості і тривалого «післясмаку». Неприємні задушливі і різкі сивушні запахи мають зразки, що містять бутиловий, бутіловий і ізоаміловий спирти; зразки з високою концентрацією пропилового спирту мають слабкі маслянисто-квіткові тони з відтінком сірчаного ефіру. Естери надають етиловому спирту невластивий фруктовий чи квітковий запах [257, 260]. Більшість з цих перелічених сполук присутні в якісній легальній алкогольної продукції в кількостях, що не надають істотного впливу на її токсичний потенціал. Обов'язкове контролювання мікродомішок спирту здійснюють згідно з ДСТУ 4222 «Горілки, спирт етиловий, водно-спиртові розчини. Газохроматографічний метод визначення вмісту мікрокомпонентів» та ДСТУ 4646 «Спирт етиловий, горілки, напої лікєро-горілчані. Газохроматографічний метод визначення справжності».

Під час контролювання справжності передбачено одночасне визначання вмісту етанолу та мікрокомпонентів, які можуть міститися в спирті етиловому ректифікованому, горілках, горілках особливих і лікєро-горілчаних напоях, а саме: метанолу, 2-пропанолу, 1-пропанолу, ізобутилового спирту, 1-бутанолу,

ізоамілового спирту (вищі спирти), ацетальдегіду, ацеталу (альдегіди); кротональдегіду, акролеїну (ненасичені альдегіди), метилацетату, етилацетату, ізобутилацетату, етилбутирату, ізоамілацетату метилпропіонату, етилпропіонату, бутилформіату (естери); оцтової, пропіонової, ізомасляної, масляної, ізовалеріанової, валеріанової, капронової кислоти (леткі кислоти), фурфуролу.

Крім того, контролювання здійснюють для визначання вмісту денатурувальних добавок та домішок хімічних сполук, які можуть потрапляти в продукцію внаслідок порушень технології виробництва, умов зберігання та транспортування, а саме: 2-бутанолу, 1-пентанолу, 1-гексанолу (вищі спирти), ацетону та 2-бутанону (кетони), бензилового спирту та 2-фенілетанолу (ароматичні спирти), бензальдегіду (ароматичний альдегід), етилового етеру, третбутанолу, діетилфталату, циклогексану, етиленгліколю, діетиленгліколю, пропіленгліколю, бензолу, толуолу, ксилолу та інших летких сполук, а також для досліджень сумішей водно-спиртових.

Діапазон визначання масових концентрацій мікрокомпонентів (крім метанолу) — від 0,5 мг/дм³ до 1000 мг/дм³, об'ємної частки метанолу від 0,0001 % до 0,2 %, об'ємної частки етанолу від 0,5 % до 100 %. В разі більш високих концентрацій мікрокомпонентів пробу розбавляють.

Нижня границя визначання вмісту етанолу, метанолу (об'ємна частка, %) і мікрокомпонентів (мг/дм³ б.с.) газохроматографічним методом згідно з ДСТУ 4646 «Спирт етиловий, горілки, напої лікєро-горілки. Газохроматографічний метод визначення справжності» становить для:

Ø етанолу, 2-бутанолбензальдегіду, 1-пентанолу, 1-гексанолу, акролеїну, кротональдегіду, ацетону, 2-бутанону, бензилового спирту, 2-фенілетанолу, етилового етеру, третбутанолу, циклогексану, етиленгліколю, діетиленгліколю, пропіленгліколю, бензолу, толуолу, ксилолу, 2-пропанолу, 1-пропанолу, ізобутилового спирту, 1-бутанолу, ізоамілового спирту, ацетальдегіду, метилацетату, етилацетату, ізобутилацетату, етилбутирату, ізоамілацетату — 0,5;

- Ø фурфуролу — 0,2;
- Ø метанолу — 0,0001;
- Ø діетилфталату, оцтової кислоти, пропіонової кислоти, ізомасляної кислоти, масляної кислоти, ізовалеріанової кислоти, валеріанової кислоти, капронової кислоти — 1,0.

Сучасні вимоги до показників якості ректифікованого спирту істотно перевищують нормативні значення показників спирту етилового ректифікованого сорту «Пшенична сльоза», «Люкс», «Екстра». Кожен мікрокомпонент має характерні відтінки смаку та аромату. Присутність в спирті етиловому органічних сполук у певних концентраціях часто формує несподівані тони, посилює органолептичні ознаки зразків продукції або змінює їх характер. Зразки спирту етилового ректифікованого, що практично не відрізняються за фізико-хімічними показниками та мікрокомпонентним складом, який було визначено хроматографічним методом, можуть істотно відрізнитися за органолептичними показниками, тому обов'язково проводять дегустаційне оцінювання зразків вихідної сировини, напівфабрикатів і готової продукції.

Оскільки інструментальні методи не завжди дозволяють виявити причини погіршення дегустаційних властивостей спиртних напоїв через нижню межу визначання мікрокомпонента, тоді дегустаційна оцінка є єдиноможливим способом, що дозволяє відрізнити високоякісну оригінальну продукцію від ординарної, фальсифіковану від натуральної [260].

Для оцінки букету, смаку та аромату водно-спиртових сумішей, горілок були проведені експериментальні дослідження та як добавки розглянуто естери і ацеталі, вищі спирти, знайдені у спирті етиловому ректифікованому. Концентрація домішок у модельних зразках змінювалася у межах, допустимих стандартом для спирту етилового ректифікованого та горілок.

Органолептичну характеристику було визначено з використанням методу множинного порівняння та детермінатною системою оцінки якості, що передбачає характеристику ступеня досконалості (нестачі) та числову оцінку показника якості щодо зразка високоякісного продукту.

Як контрольний зразок було прийнято спирт етиловий ректифікований сорту Люкс з оцінкою 9,5 бала. На основі цього спирту було приготовлено модельні зразки із фіксованою добавкою мікродомішки.

У спиртних дистилатах ідентифіковано понад 240 речовин, які мають яскраво виражені смак і запах. Кожна індивідуальна мікродомішка має властиві їй характерні відтінки смаку та аромату, які залежать від концентрації. Діацетил, наприклад, за дуже малих концентрацій надає спирту фісташковий присмак лісового горіха, у разі його більшої концентрації робить запах неприємним.

Формування аромату (букету) напоїв важко оцінити кількісно. Це зумовлено і проявами спільної присутності мікрокомпонентів, які можуть посилювати або притіняти букет чи змінювати його характер.

Аліфатичні кислоти належать до третьої групи небажаних домішок. У чистому вигляді вони мають неприємний запах. В оцтовій, пропіонової та масляній кислотах відчувається різкість, при розведенні гострота запаху зникає (в оцтовій кислоті залишається) і з'являються характерні маслянисто-квіткові тони.

Найсильніший запах мають оцтова, масляна та капронова кислоти, які зустрічаються у горілках у концентраціях від 4 мг/дм³ б.с. до 8 мг/дм³ б.с. В основному, смак усіх кислот у розведеному розчині пекучий і неприємний. Вугільна кислота пом'якшує смак напоїв. Вплив добавок кислоти на смак горілок проявляється при концентраціях від 40 мг/дм³ б.с. (для масляної кислоти) до 1 г/дм³ б.с.

Неприємні задушливі та різкі сивушні тони мають н-бутиловий, ізобутиловий та ізоаміловий спирти. Ізопропіловий і н-пропіловий спирти в розведених розчинах мають слабкі маслянисто-квіткові тони або з відтінком сірчистого естеру без особливої пекучості смаку. У ректифікованому спирті та горілках ці домішки мало відчувалися за концентрацій 0,5–1 г/дм³ б.с. За цих концентрацій у горілках спостерігали дещо гіркуватий присмак. З усіх спиртів найсильнішим за впливом на аромат горілок має ізобутиловий і ізоаміловий

спирти, різкий сивушний тон яких розрізняли за масової концентрації від 0,8 мг/дм³ б.с. до 2 мг/дм³ б.с.

Альдегіди відрізняються запахом в десятки-сотні разів більш інтенсивним, ніж відповідні спирти або кислоти. Порогові концентрації у водно-спиртових сумішах для пропіонового, масляного та валеріанового альдегідів становлять до 0,004 мг/дм³ б.с.

Оцтовий альдегід надає горілкам і спиртним дистилятам неприємного різкого запаху, пропіоновий — задушливого; масляний, ізомасляний, ізовалеріановий альдегіди надають гострого фруктово-плодового різкого запаху.

При розбавленні водно-спиртових сумішей сприйняття альдегідів, окрім оцтового, пом'якшується, зразки набувають віддушки житньої шкірки, а у високомолекулярних альдегідів — плодового аромату.

За характеристикою альдегідів ускладнень при виділенні оцтового, пропіонового та масляного альдегідів під час епюрації спирту не виникає. З бражки з високим вмістом альдегідів найчастіше отримують спирт етиловий зі зниженими дегустаційними властивостями при задовільних аналітичних показниках. Пояснюється це взаємодією альдегідів зі спиртами, з утворенням ацеталей та напівацеталей.

Формальдегід у спирті етиловому ректифікованому із зернової сировини зустрічається рідко (за масової концентрації 0,1 мг/дм³ б.с. — надає спирту різкого присмаку та легкого гіркуватого відтінку). У вугільно-очисній батареї горілчаного виробництва він окиснюється до мурашиної кислоти, яка частково сорбується активним вугіллям.

Формальдегід у спирті етиловому ректифікованому виявляється у двох формах: вільний — ацетальдегід та зв'язаний ацеталь (сполука ацетальдегіду з однією чи двома молекулами етилового спирту). Залежно від форми у якій представлений ацетальдегід, спирт етиловий та водно-спиртові суміші мають різні дегустаційні характеристики і бальні оцінки. Вільний ацетальдегід надає пекучості, ацеталь — м'якості. Як правило, при виході з ректифікаційної установки в спирті етиловому ректифікованому переважає вміст вільного

ацетальдегіду. Після настання хімічної рівноваги в спирті етиловому утворюється ацеталь. Відповідно етиловий спирт після установки ректифікації характеризується більшою пекучістю, ніж після декількох діб його зберігання.

Аналогічний процес відбувається після оброблення водно-спиртової суміші активним вугіллям у вугільно-очисній батареї горілчаного виробництва. Оброблена активним вугіллям водно-спиртова суміш після виходу з очисної батареї містить ацетальдегід, переважно у вільній формі, тому оброблена сортівка має різкуватий пекучий смак. Після витримки водно-спиртової суміші в довідній ємності протягом 24-48 годин ацетальдегід переходить у зв'язану форму, і органолептичні показники покращуються.

Пропіоновий альдегід окиснюється з утворенням пропіонової кислоти. Пропіоновий альдегід, залежно від концентрації, надає спирту від терпкуватого (до 0,1 мг/дм³ б.с.) до гіркого смаку.

Після очищення водно-спиртової суміші активним вугіллям на вугільно-очисній батареї спостерігалась терпкість та з'являвся чи підсилювався гіркуватий присмак. Це пояснюється тим, що пропіоновий альдегід під час оброблення водно-спиртової суміші окислився до пропіонової кислоти, яка надала горілці неприємного гіркуватого присмаку.

Ацеталі пропілового спирту та оцтового, пропіонового та масляного альдегідів у малих концентраціях (0,1–1,0 мг/дм³ б.с.) пом'якшують смак та запах, інші ацеталі погіршують якість спирту.

У пробах спирту найчастіше визначали ненасичені альдегіди: акролеїн та кротоновий альдегід. Навіть незначні концентрації цих домішок через виключно гострий задушливий запах і неприємний смак погіршують дегустаційні оцінки етилового ректифікованого спирту та лікєро-горілчаної продукції. За масової концентрації менше ніж 1 мг/дм³ б.с. кротоновий альдегід надавав зразкам неприємні грибні тони, сильну гіркоту.

Кротоновий альдегід утворюється в спирті під час брагоректифікації внаслідок альдольно-кротонової конденсації двох молекул ацетальдегіду. Кротоновий альдегід — це ненасичена сполука, і її наявність в спирті етиловому

ректифікованому за масової концентрації понад 0,5 мг/дм³ б.с. надає останньому різкого пекучого смаку та інтенсивного альдегідного запаху, знижує показник перманганатної окислюваності спирту.

У горілчаному виробництві під час очищення водно-спиртової суміші активним вугіллям за оптимальних умов кротоновий альдегід розпадається на дві молекули ацетальдегіду, при цьому органолептична оцінка обробленої суміші покращується, втрачається різкий тон, зменшується пекучість порівняно із сортівкою.

Під час виробництва кольорових лікєро-горілчаних напоїв кротоновий альдегід за масової концентрації понад 0,2 мг/дм³ б.с. знижує стійкість напою, інтенсивність забарвлення та постерігається зміна кольору і тим самим скорочується строк придатності його зберігання.

Акролеїн є ненасиченою сльозогінною сполукою, що утворюється під час бродіння, в процесі брагоректифікації концентрується у верхній частині ешюраційної колони з періодичними викидами в головну фракцію етилового спирту, але в момент максимальної концентрації може потрапляти в етиловий спирт, різко знижуючи показник перманганатної окислюваності спирту. Як і кротоновий альдегід, акролеїн надає етиловому ректифікованому спирту різкого пекучого смаку.

Низькомолекулярні аліфатичні аміни мають неприємний запах, при цьому триметиламін і аміак відчувається в спирті за їх масових концентрацій 0,01 мг/дм³ б.с., а при масовій концентрації 0,1 мг/дм³ б.с. спирт має різко виражений гнильний запах і неприємний терпкий смак.

Сивушні спирти та жирні кислоти надають етиловому спирту і горілкам специфічні смакові та ароматичні тони, переважно різкі та неприємні, а тому знижують дегустаційні оцінки.

Естери беруть участь в утворенні букета горілок та алкогольних напоїв. У спирті і дистилятах серед домішок естери численні і різноманітні, вони мають сильний запах, що виявляється в різних концентраціях. Запах алкогольних

дистильованих напоїв відрізняється індивідуальним мікрокомпонентним складом та співвідношенням естерів і сивушних спиртів.

Етилові естери багатьох кислот надають водно-спиртовим сумішам фруктові та квіткові ароматичні тони, приємний горішковий присмак.

З усіх естерів виділявся ізоамілацетат своїм інтенсивним та неприємним запахом, поріг сприйняття якого становить $0,1 \text{ мг/дм}^3$ б.с. У водно-спиртових сумішах цей ефір має прояв аромату грушевої есенції.

У горілках мікрокомпоненти представлені значною кількістю різних естерів — легких сполук, які в основному формують їх аромат: етилацетат, метилацетат, етилбутират, ізобутилацетат, ізоаміла-цетат, 1-гексанол, бутилформіат та інші.

Етилацетат та метилацетат належать до сполук, які разом з етиловим спиртом створюють спиртовий запах етилового ректифікованого спирту та горілчаній аромат у горілках. Ці мікрокомпоненти характеризуються низькими температурами кипіння, відчуються органолептично в концентрації, що перевищує 2 мг/дм^3 б.с. під час отримання водно-спиртової суміші при змішуванні спирту етилового і води підготовленої, коли в результаті екзотермічної реакції суміш нагрівається, але після охолодження розчину в ароматі відчутні лише відтінки цих сполук.

У горілчаному виробництві ці сполуки частково виділяються в процесі приготування сортівки і частково сорбуються активним вугіллям. Водночас у процесі оброблення водно-спиртової суміші на вугільно-очисній батареї утворюється етилацетат. Концентрація цієї сполуки в обробленій водно-спиртовій суміші залежить від технологічних режимів обробки, а також від концентрації етилацетату, тому сортівка характеризується різною інтенсивністю аромату.

Етилбутират, ізобутилацетат, ізоамілацетат, бутилформіат — естери, яких не повинно бути як в етиловому ректифікованому спирті так і горілках. Вони можуть утворюватися в результаті порушення технології виробництва і надавати неприємного запаху: етилбутират — гнилих фруктів, ізобутилацетат —

квіткового відтінку, ізоамілацетат — фруктовий відтінку (грушева есенція), бутилформіат — парфумерного відтінку. У горілчаному виробництві такі сполуки не утворюються і не сорбуються активним вугіллям. Джерелом надходження їх у горілчані напої можуть бути як етиловий ректифікований спирт, так і інгредієнти горілчаного виробництва.

Н-пропанол, як і інші вищі спирти, утворюється в процесі бродіння. У спирті етиловому ректифікованому за масової концентрації 0,5 мг/дм³ б.с. він відчувається органолептично, надаючи спирту неприємного присмаку. У горілчаному виробництві при обробленні водно-спиртових сумішей активним вугіллям н-пропанол сорбується частково — не більше, ніж на 30%, тож органолептична оцінка водно-спиртових сумішей з н-пропанолом у процесі технологічної обробки не покращується, така домішка в спирті етиловому ректифікованому небажана.

Ізопропанол, на відміну від н-пропанолу, за масової концентрації до 3,5 мг/дм³ б.с., позитивно впливає на смакові якості спирту, надає йому приємної м'якості, повноти смаку, маскує різкість спирту, спричинену наявністю інших сполук. У горілчаному виробництві він практично не сорбується активним вугіллям, при сильному окисненні водно-спиртових сумішей ізопропанол розпадається, утворюючи ацетон, вміст якого в горілчаних напоях неприпустимий. Гранична концентрація ізопропанолу в спирті етиловому ректифікованому для виробництва алкогольних напоїв — до 1,5 мг/дм³ б.с.

Н-бутанол та н-пентанол у спирті етиловому ректифікованому спостерігали рідко, наявність цих домішок погіршувала смакові властивості спирту, з наданням йому неприємного маслянистого відтінку та різкості. У горілчаному виробництві в процесі обробки водно-спиртової суміші масова концентрація н-бутанолу та н-пентанолу практично не змінювалась, у виробництві алкогольних напоїв ці мікрокомпоненти — небажані домішки.

Ізобутанол та ізоаміловий спирт за масової концентрації до 0,5 мг/дм³ б.с. пом'якшували смак спирту і при цьому не відчували сивушних відтінків у запаху спирту і ароматі горілок. У процесі виготовлення горілок вміст ізобутанолу та

ізоамілового спирту практично не змінювалась.

Було узгоджено та уточнено смаковий та ароматичний профіль спирту етилового ректифікованого сорту Люкс із зерної крохмалевмісної сировини, який повинен мати:

- чисто спиртовий запах, з легким, що гармонує зі спиртом фруктовим ефірним відтінком, без маслянистості або квіткових та інших відтінків;
- легкий смак, пом'якшений та округлий з ледь помітною залишковою гіркотою та пом'якшеною пекучістю, характерною безпосередньо спирту.

Серед естерів виділено три групи:

- перша група нечисленна, здатна певною мірою покращити смак або запах;
- друга група домішок з нейтральним або пом'якшуючим впливом на органолептичні оцінки та запах спирту;
- до третьої численної групи віднесено естери, що погіршують смак і запах спирту будь-яких концентраціях.

З мікродомішок першої групи цікаві метилові естери оцтової та пропіонової кислот. Вони надають аромату спирту та горілкам м'яких фруктових відтінків, а також знижують пекучість і різкість спиртового смаку.

Друга група відрізняється тим, що мікродомішки істотно не змінюють букет, лише посилюють або округляють відтінки спирту, надаючи гармонійність сприйняттю. Цікавим представником цієї групи естерів є етиловий естер оцтової кислоти. Його вміст у спирті етилового ректифікованому найвищий. У великих концентраціях етилацетат має простий та сильний фруктовий аромат. В концентрації 1,0–5,0 мг/дм³ б.с. і до 10 мг/дм³ б.с. він разом з іншими естерами покращує запах спирту та горілок. Зі збільшенням концентрації до 15,0–30,0 мг/дм³ б.с. він погіршує дегустаційну оцінку і надає зразкам фруктового аромату з мигдалевим відтінком.

Метиловий естер ізовалеріанової кислоти, етиловий — масляної кислоти та пропіловий — пропіонової кислоти допустимі у спирті та горілках лише в концентраціях до 2,5 мг/дм³ б.с., при яких вони гармонійно пом'якшують букет.

За вищих концентрацій ці сполуки надають спирту, водно-спиртовим сумішам і горілкам сторонніх відтінків.

Пропіловий естер ізомасляної кислоти та ізобутиловий естер масляної кислоти в концентраціях 1,5–5 мг/дм³ б.с. надають спирту та горілкам своєрідні відтінки: перший — фруктовий, другий — м'якість і легкість до спиртових тонів. Зразки такого спирту і горілок мають округлий смак і аромат і не належать до чистого чи нейтрального спирту. Їх тони характерні для традиційних горілок.

До третьої групи відносять мікродомішки, які в будь-яких концентраціях надають спирту неприємні відтінки запаху — смолисто-гнильний, мильний, прогірклого масла, затхлого сіна або прілого зерна, кислотворожистий, паленої гуми та ін. У цій групі виділено дванадцять естерів, з яких пропіл- та метилбутират характерні для мелясного і зернового спирту, виготовленого з неякісної сировини.

Під час ректифікації ці домішки важко виділяються, оскільки за леткістю вони близькі до етилового спирту.

Етилформіат і пропілформіат надають спирту етиловому затхлих відтінків (від цвілевих або кисло-затхлих до смолисто-затхлих). У смаку ці мікродомішки збільшують гіркоту та пекучість. Поріг сприйняття запаху становить 5 мг/дм³ б.с. спирту. Ці домішки за вмістом у спирті та характером впливу на його аромат є типовими для неякісного спирту із крохмалевмісної сировини.

Пропіл- і ізобутилпропіонати, а також етилбутират надають спирту специфічні квіткові тони, які легко впізнаються в сивушному спирті.

Бутилпропіонат та пропілізовалеріат у спирті мають дуже різкі сильні квітково-сивушні тони у концентраціях до 2,5 мг/дм³ б.с.

Етилові естери жирних кислот у спиртових розчинах надають їм своєрідного приємного присмаку з горіховим відтінком. Мінімальна концентрація етилових естерів, що відчувається у спирті та горілках, становить від 2 мг/дм³ б.с. до 10 мг/дм³ б.с. При цьому смак та запах горілок не погіршуються.

Поріг сприйняття етилового ефіру масляної кислоти у горілках становить 0,4 мг/дм³ б.с. При великих концентрацій горілки набувають маслянистих відтінків.

До групи домішок, що надають сторонній аромат спирту навіть у малих концентраціях, віднесено дев'ять високомолекулярних естерів, за їх вмісту 1,0 мг/дм³ б.с. спирт і горілки набувають стороннього запаху. Особливо неприємні властивості має ізоамілацетат, смак і запах якого за будь-яких концентрацій залишається сильним, різким, неприємним із сивушним тоном.

Таким чином, серед естерів є численна група мікродомішок, що позитивно впливають на органолептичну оцінку спирту при малих концентраціях від 2,5 мг/дм³ б.с. до 5,0 мг/дм³ б.с. У великих концентраціях мікродомішки надають спирту і горілкам негармонійні відтінки запаху та смаку.

В результаті досліджень встановлено оптимальні значення катіонно-аніонного складу води підготовленої та мікродомішок спирту етилового ректифікованого, що дозволить об'єктивно оцінювати вихідну сировину та прогнозувати стабільність та сенсорну оцінку горілок і лікєро-горілчаних напоїв.

6.3 Спеціальні харчові продукти як високоефективні профілактичні засоби мінімізації дії радіації

На сьогодні доведено, що навіть малі дози постійно діючого радіоактивного опромінення можуть викликати легку форму променевої хвороби, зниження імунітету і негативні віддалені наслідки. Радіонукліди, які потрапили в організм людини, здатні накопичуватись у тканинах і органах, дуже повільно виводяться і спричинюють різноманітні захворювання, зокрема онкологічні. І в такій ситуації все більше уваги і в медицині, і в нутриціології приділяється профілактичним заходам захисту організму людини від радіоактивних ушкоджень, а пріоритетного значення набувають нутрієнти радіопротекторної та адаптогенної дії. Ці чинники визначають актуальність даної роботи, а практична реалізація такої профілактики пов'язана з розробленням та виробництвом функціональних харчових продуктів і дієтичних добавок на основі сировини з підвищеним вмістом радіопротекторів.

Метою даної роботи є науково обґрунтований вибір рослинних джерел сполук із підвищеним вмістом компонентів радіопротекторної, адаптогенної та антиоксидантної дії і розроблення способу отримання дієтичної добавки для захисту організму людини від малих доз іонізуючої радіації.

Практично все населення України перебуває під постійним впливом малих та надмалих доз радіоактивного опромінення, яке викликає більш серйозні наслідки, ніж високі дози короткочасного опромінення. І на основі того, що відомо на сьогодні, можна говорити про високу активність малих і надмалих доз, зокрема показано, що надмалі дози опромінення викликають розриви в молекулах ДНК, впливаючи на геном людини.

У зв'язку з цим, необхідно виділити один із найважливіших чинників, що впливає на стан здоров'я людини і популяції та здатен захистити організм від ендо- та екзогенних забруднювачів – чинник харчування. Хімічний склад їжі як у традиційному її розумінні (вміст харчових та біологічно активних речовин), так і з урахуванням неаліментарних компонентів, зокрема радіонуклідів, справляє

регульований вплив на всі системи живого організму, які відповідають за транспорт, метаболізм, знезараження та елімінацію ксенобіотиків. Ось чому проблема профілактики їх надходження та виведення з організму людини – одна з найважливіших для населення України.

Серед багатьох медикаментозних речовин та компонентів харчових продуктів, вивчених як засіб зменшення всмоктування у шлунково-кишковому тракті та накопичення в організмі радіонуклідів стронцію та цезію (одних із найбільш радіотоксичних елементів), увагу дослідників привернула альгінова кислота, органічні кислоти, вітаміни-антиоксиданти. Однак спектр природних біокомпонентів з радіопротекторними властивостями набагато ширший. І тому розвиток ґрунтовних досліджень з пошуку нових природних джерел для отримання широкого спектру функціональних інгредієнтів, дієтичних добавок та продуктів радіопротекторної дії як для безпосереднього вживання, так і для збагачення традиційних харчових середовищ, є актуальним напрямом сьогодення і в медицині, і в сфері харчових технологій.

Найбільш швидким і економічно вигідним шляхом створення композицій радіопротекторної дії є виробництво дієтичних добавок, яке можна організувати на підприємствах фармацевтичної і харчової промисловості, приватних підприємствах (таких, наприклад, як ПП «Доктор Хелсі», м. Дніпро; ТОВ «Еліт-Фарм», м. Дніпро; «БіоТехнологія», м. Київ). Відповідно до Закону України №771/97-ВР «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», дієтичні добавки віднесено до харчових продуктів, що споживаються у невеликих кількостях додатково до звичайного раціону і які є концентрованим джерелом поживних речовин. Тобто, і з законодавчої точки зору дієтичні добавки можна розглядати як ефективні засоби забезпечення організму людини інгредієнтами радіопротекторної дії.

За останні 36 років загальний фон радіоактивності докільця значно зріс. Подальшому його підвищенню сприяє дифузія радіоактивних речовин з місць захоронення відходів АЕС і особливо аварія на Чорнобильській атомній станції. Не існує безпечних способів зберігання радіоактивних відходів і немає

безпечних доз опромінення. Радіоактивний фон в усьому світі призводить до передчасної старості, природжених дефектів, росту дитячої смертності, поширенню раку та лейкемії, а також раніше не відомих інфекційних захворювань. Основною причиною цих страждань людства є непередбачувано серйозний вплив малих доз опромінення протягом тривалого часу [261].

В умовах впливу іонізуючої радіації складаються ефекти онкогенних чинників, таких як джерела гепатотоксичних нітросполук, поліциклічні ароматичні вуглеводні, різноманітні забруднювачі харчових продуктів, що утворюються при технологічному та кулінарному обробленні. Небезпека виникнення злякисних новоутворень різко підвищується при сумісній дії іонізуючої радіації та названих онкогенних чинників.

Загальновідомо, що використання засобів специфічної профілактики радіаційних уражень є важливим елементом захисту організму в умовах загального опромінення від зовнішніх джерел. Водночас доведено [262], що при ураженні радіоактивними сполуками динаміка накопичення організмом поглинутої дози істотно відрізняється від характеру її формування в умовах миттєвого чи швидкоплинного – нейтронного або рентгенівського опромінення. При постійному надходженні радіоактивних сполук в організм період формування гостроефективної дози в органах і тканинах виявляється більш тривалим, оскільки цей процес визначається ядерно-фізичними властивостями радіонуклідів і часом перебування їх в організмі.

Тому одноразове профілактичне використання радіопротекторів (термін ефективною дією яких переважно короткий) з метою «нейтралізації» частини сумарної дози опромінення явно недостатнє та й недоцільне [263]. Тому в концептуальному плані можна ставити питання щодо тривалого використання радіопротекторів на фоні постійного внутрішнього опромінення для підтримання в організмі ефективно діючої концентрації препарату захисної дії. З цією метою використовують різноманітні ентеросорбенти, високоокислену целюлозу, сорбенти на основі природних полімерів.

Однак декорпоруюча дія цих препаратів обмежена. Доведено, наприклад, що пектини малоефективні стосовно зменшення всмоктування радіонуклідів стронцію в шлунково-кишковому тракті, оскільки вони не утворюють стійких комплексних сполук зі Sr^{2+} . Тривале (понад місяць) вживання ентеросорбентів на основі активованого вугілля та природних полімерів призводить до істотного мінерального дисбалансу, погіршення формули крові, викликає стійкий дисбактеріоз [263], оскільки будь-який сорбент, поглинаючи і виводячи із організму радіоактивні елементи, одночасно зв'язує і нерадіоактивні.

Тому на даний час склалась ситуація, що виключає доцільність ефективного застосування названих моносорбентів. Реальнішим видається досягнення зазначеної мети, якщо йти шляхом розроблення радіозахисних рецептур та багатокомпонентних комплексів. Таким чином можливо вирішити декілька завдань: забезпечення вищого рівня захисту, зниження побічних та небажаних ефектів протипроменевих препаратів, і, нарешті, досягнення більш раннього прояву дії та подовження її, що сприяє корегуванню доз на підставі потенціювання або простої сумачії зазначених ефектів [264].

Серед багатьох медикаментозних речовин та компонентів харчових продуктів, вивчених як засіб зменшення всмоктування у шлунково-кишковому тракті та накопичення в організмі радіонуклідів стронцію та цезію, увагу дослідників привернула альгінова кислота, органічні кислоти [265], вітамін-антиоксиданти [266] тощо, тобто натуральна сировина та її біокомпоненти. Разом з тим, пошук таких інгредієнтів необхідно проводити і далі, зважаючи на багатий рослинний світ України. Вони здатні не лише знизити накопичення радіонуклідів в організмі, а й підвищити його опірність до багатьох шкідливих чинників, у тому числі до іонізуючого опромінення, нормалізувати стан ендокринної, імунної та кровотворної систем [267].

Заходи профілактичного та оздоровчого харчування в зоні хронічного опромінення життєво важливі, особливо за умов, коли більшість населення має постійний мікроелементний, вітамінний та амінокислотний дефіцит, недостатнє надходження поліненасичених жирних кислот та вітамінів при вуглеводно-

жировому надлишку харчування. Такі хронічні деформації гомеостазу призводять до закономірного зниження резервного потенціалу імунних (вітамінний та амінокислотний дефіцити) та нейроендокринних (мікроелементний дефіцит) функцій, що різко підсилюються фоною токсичністю середовища та харчових продуктів.

Сучасна концепція радіопротекторного харчування, тобто загального дієтичного захисту, вкупі із фоновим дотриманням загальних норм здорового харчування, особливо щодо достатньої кількості натуральних амінокислот, вітамінів та мікроелементів для профілактики імунних та нейроендокринних дисфункцій, охоплює три основних напрями [268]:

1. Попередження надходження радіонуклідів шляхом насичення організму стабільними сполуками за принципом конкуренції, коли радіоактивні елементи не можуть включатись до складу клітин організму. Для цього необхідна достатня кількість органічного йоду. Поповнення конкурентів цезію (калію, меншою мірою – натрію) та стронцію (кальцію, меншою мірою – магнію та міді) також повинно надходити з відповідними продуктами, мінеральною водою, екстрактами [269]. Таким чином можна запобігти вторинному внутрішньому опромінюванню.

2. Гальмування процесу накопичення радіонуклідів і попередження їхньої руйнівної активності, внутрішньоклітинне гасіння біологічної агресивності радіації шляхом введення в організм металів-мішеней, перехоплювачів (перш за все заліза, кобальту, міді, нікелю, кремнію), сірковмісних тіолових ферментів, сполук-пасток, антиоксидантів та адаптогенів, що не лише веде до достовірного захисту, а й до ефекту стимулювання загальних біологічних, імунних процесів.

3. Видалення радіотоксинів та інших ксенобіотиків з організму як профілактичний захід завдяки достатній кількості в раціоні різних харчових волокон, перш за все низькометильованих пектинів, та вживанню сорбуючих компонентів, зокрема альгінатів [262, 266].

Варто ще раз підкреслити, що зазначені заходи будуть успішними в разі дотримання загальних норм здорового харчування, передусім надходження з

їжею достатньої кількості повноцінних білків. Це дає змогу підвищити загальну резистентність до хронічного внутрішнього опромінення та інфекцій, а також знижує рівень інкорпорації радіонуклідів.

Саме тому при конструюванні продуктів радіопротекторної дії необхідно за можливості збагачувати не лише їхній мікроелементний, а й амінокислотний склад. Перспективними джерелами функціональних інгредієнтів, багатих на амінокислоти, є спіруліна, зародки пшениці, проросле зерно пшениці та інших зернових, культури міцелію вищих грибів, люцерна.

Серед пріоритетних застережень щодо харчування в умовах хронічного опромінення фахівці називають також неприпустимість зловживання неякісними жирами, оскільки вони являють собою основу для перекисного окислення ліпідів, беруть участь в утворенні радіотоксинів, руйнуючи імунну систему, є провідниками в організм та накопичувачами гідрофобних ксенобіотиків, зокрема пестицидів, що потенціюють дію іонізуючого опромінення [270]. Система антиоксидантного захисту організму забезпечує цілісність найважливіших субклітинних біоструктур – мембран та ядерного геному. Речовини-антиоксиданти харчових продуктів підсилюють внутрішні протипроменеві ресурси організму, уповільнюють чи зупиняють реакції вільнорадикального окислення і, отже, зменшують утворення ендогенних радіосенсибілізаторів, радіотоксинів [271].

Антиоксидантна дія функціонального харчового продукту великою мірою забезпечується наявністю *вітаміну А та каротиноїдів, вітамінів С та Е, а також мікроелементу селену*. Крім того, необхідна оптимальна кількість біогенних мінералів.

Каротиноїди належать до незамінних чинників харчування, оскільки не є ендогенними сполуками. Вони мають регулярно надходити в організм з їжею, особливо як антиоксиданти, оскільки інактивують синглетний кисень. Доцільніше використовувати каротиноїди в якості профілактичного, а не терапевтичного радіопротекторного засобу [266]. β -каротин, що міститься зокрема в гарбузах, порівняно з ретинолом (вітаміном А) має вкрай низьку

токсичність навіть у найвищих дозах. Дослідники відзначають його важливе значення для лікування віддалених наслідків радіації і рекомендують збільшити споживання продуктів, багатих каротиноїдами, з метою зменшення ризику радіаційного і спонтанного канцерогенезу [270].

При цьому навіть невелику аліментарну недостатність β -каротину або ретинолу, що не веде до якихось клінічних проявів гіповітамінозу, слід розглядати як фактор, що підвищує чутливість організму до радіації і збільшує канцерогенний ризик [272]. Харчові волокна різних рослин можуть також зв'язувати певні радіоізотопи, не впливаючи на інші сполуки. Тому важливо споживати різні харчові волокна в дозі 25-40 г на добу, що забезпечує фізіологічну детоксикацію організму.

Перспективним інгредієнтом для конструювання продукції з радіопротекторною дією є *бурштинова кислота*, або харчова добавка E 363 за європейською системою кодифікації. Бурштинова кислота сприяє підвищенню неспецифічної імунорезистентності, протекції клітинних структур від перекисного і вільнорадикального окислення, нормалізації нейроендокринної регуляції. Бурштинова кислота запобігає перекисному окисленню ліпідів (ПОЛ) в організмі, яке різко активізується при опромінюванні. Радіопротекторна дія бурштинової кислоти в основному пов'язана із впливом на метаболічні клітинні процеси (зменшення оксигенації цитоплазми і ядра, активація клітинного дихання, збільшення числа АТФ і білків) [263].

Цинк і селен у значних кількостях [274] – потужні антиоксиданти. Роль ультрамікроелементу *селену* серед біологічних антиоксидантів варто виділити особливо. Спектр дії селену досить широкий. Він виконує каталітичну, структурну та регуляторну функції, взаємодіє з вітамінами, ферментами та біологічними мембранами, бере участь в обміні жирів, білків і вуглеводів. Під його впливом відбувається зміна швидкості утворення АТФ. Селен функціонує в окисно-відновлювальній системі клітинних мембран і входить до одного з найпотужніших антиоксидантних ферментів – глутатіонпероксидази [275].

Зародки пшениці є побічним продуктом у виготовленні пшеничного борошна, який використовується в харчовій промисловості для збагачення продукції. Містять наступні компоненти, суттєві для досягнення радіопротекторного ефекту: *селен, цинк та вітамін E* у значній кількості як потужні антиоксиданти; унікальний *комплекс незамінних амінокислот*. Важливість амінокислот для радіопротекції переконливо доведено на досвіді наслідків аварії на ЧАЕС, у тому числі клінічно [276, 277]; *залізо* як метал-мішень, що сприяє гасінню ефекту опромінювання шляхом зв'язування каталізаторів вільнорадикальних процесів; *мідь*, що виступає конкурентом Sr^{85} ; *інші макро- та мікроелементи* як чинник загального нейроендокринного здоров'я організму людини; *поліненасичені жирні кислоти (лінолева, ліноленова)*, що забезпечують засвоюваність каротиноїдів; *вітаміни групи B* як синергісти антиоксидантної дії селену.

Аварія на Чорнобильській АЕС, випробування ядерної зброї, радіоактивні відходи атомних об'єктів спростували поняття «мирний атом» та призвели до радіоактивного забруднення великих територій нашої країни. У зв'язку з цим, радіонукліди переходять у сільськогосподарську сировину і, відповідно, отримання з неї продукти. Така ситуація прогнозується і на майбутні десятиліття, тому науковці здійснюють інтенсивний пошук засобів профілактики накопичення радіонуклідів в організмі тварин та людей, а також прискорення їх виведення природним шляхом.

Засоби для реального захисту організму від тривалої дії низькоінтенсивного опромінення мають бути спрямовані на обмеження розвитку післярадіаційних реакцій, підтримання та підвищення власних захисних сил організму. Вони мають бути нетоксичними і придатними до тривалого застосування. Тому в системі такого захисту важлива роль відводиться спеціально розробленим харчовим продуктам, окремим нутрієнтам та дієтичним добавкам. Аліментарний шлях їх надходження в організм людини є найбільш природним, широкодоступним і не сприймається як лікування.

Різноманітний спектр рослинної сировини на території України дає можливість обрати найбільш придатні види для отримання дієтичних добавок радіопротекторної дії. Це культивовані і дикорослі ягоди, зелена маса рослин, зародки зернових, прянощі, які й стали предметом наших досліджень.

Експериментальну частину роботи розпочинали із з'ясування відповідності складу ягід чорної смородини тим критеріям, які визначають радіопротекторну спрямованість дієтичної добавки. На сьогодні відомо понад 50 сортів чорної смородини, що культивується і вирощується в Україні. Для проведення досліджень ми обрали сорти смородини, що, за літературними даними, відзначаються найбільшим вмістом аскорбінової кислоти: «Неаполітанська», «Єдина», «Находка», «Лія плодюча», «Чемпіон Примор'я», «Солодкоплідна», «Голубка», «Велетень», «Каскад». У вибраних сортах смородини визначали вміст основних показників і отримані дані систематизували у таблиці 1.

Таблиця 1.

Біохімічний склад свіжих ягід смородини різних сортів

Сорт	Вміст сухих речовин, %	Загальна кількість цукрів, %	Вміст інвертного цукру, %	Вміст вітаміну С, мг / 100 г	Кислотність, %
Неаполітанська	14,2±0,03	6,1 ± 0,04	5,2 ± 0,04	220±0,09	3,32±0,06
Єдина	12±0,08	6,0±0,03	5,1±0,06	215±0,08	3,58±0,09
Находка	11,4±0,02	4,8±0,06	4,6±0,07	198±0,3	3,36±0,001
Лія плодюча	14±0,07	5,4±0,02	4,8±0,05	284±0,1	3,78±0,05
Чемпіон Примор'я	9±0,05	4,5±0,07	4,0±0,03	245±0,02	3,70±0,02

З даних таблиці видно, що ягоди смородини вирізняються багатим хімічним складом. Загальна кількість цукрів коливається від 4,5 до 6,1 за масою ягід. Цінним є те, що понад 90% загального вмісту цукрів складає інвертний цукор, причому переважає фруктоза, а глюкози значно менше.

Вміст вітаміну С коливається від 198 до 284 мг %, хоча в літературі зустрічаються дані, за якими вміст аскорбінової кислоти досягає 1000...1500 мг %. Разом з тим, слід зазначити, що для будь-яких сортів смородини максимальну кількість вітаміну С містять незрілі ягоди. В міру їхнього досягання С-вітамінна активність знижується і різко падає для перестиглих ягід. Тому для отримання дієтичних добавок та поліфункціональних збагачувачів із підвищеним вмістом аскорбінової кислоти доцільно в якості її природного джерела обирати недозрілі ягоди. Кислотність ягід смородини коливається від 3,32 до 3,78 % (за органічними кислотами). В основному це лимонна, яблучна, щавлева, кавава кислоти.

Створюючи дієтичні добавки радіопротекторної дії, основну увагу надаємо тим компонентам рослинної сировини, які підвищують адаптаційні можливості організму людини за рахунок високого вмісту вітаміну С, біофлавоноїдів, органічних кислот. До таких сортів ягід смородини слід віднести наступні: Солодкоплідна, Голубка, Велетень, Каскад (таблиця 2).

Таблиця 2.

Вітамінний склад ягід смородини різних сортів

Сорт	Вміст аскорбінової кислоти, мг / 100 г	Вміст біофлавоноїдів, мг / 100 г	Вміст органічних кислот, %
Солодкоплідна	285 ± 0,04	2346 ± 0,2	3,8 ± 0,006
Голубка	224 ± 0,06	1994 ± 0,04	4,2 ± 0,004
Велетень	315 ± 0,03	3234 ± 0,1	4,6 ± 0,003
Каскад	162 ± 0,04	1744 ± 0,3	3,6 ± 0,002

Аналіз табличних даних свідчить про те, що за складом БАР перші три сорти ягід смородини є ефективним джерелом і аскорбінової кислоти, і біофлавоноїдів, і органічних кислот, тобто вони цілком придатні для виробництва дієтичних добавок. Для отримання порошкоподібних дієтичних добавок ягоди чорної смородини висушували низькотемпературним способом.

Для вибору оптимального значення температурного режиму, при якому втрати БАР будуть найменшими, дослідження проводили при температурах 35, 45 та 55 °С, у сушарці EZIDRI. Аналізуючи співвідношення зміни вмісту води в ягодах і тривалості сушіння при постійній температурі, виявили цікавий факт. У період постійної швидкості сушіння видалення вологи незначно залежить від температури процесу – протягом 180 хв. залишкова вологість становить 58% при 35 °С, 46 % – при 45 °С, 44% – при 55°С. В період спадаючої швидкості (через 210 хв. після початку процесу) ефект видалення вологи уже істотно залежить від температури: через 260 хв. сушіння при 55 °С уже практично видалено всю вільну вологу і досягнуто 10 % вологості, тоді як при температурі 35 °С залишкова вологість становить 48% і лише через 480 хв. вона досягає рівня 10%. З точки зору інтенсифікації процесу, доцільнішою є температура 55°С, однак додаткові дослідження показали, що менші втрати БАР досягаються при температурі 45°С, яку й було обрано оптимальною.

У висушених ягодах смородини визначили вміст основних біокомпонентів у зіставленні зі свіжими ягодами (табл. 3 і 4).

Таблиця 3.

Вміст основних вітамінів, мг / 100 г

Показники	Свіжі ягоди	Висушені ягоди
Вітамін С	238,5±0,01	482±0,05
Поліфенольні сполуки	2445±0,05	4384±0,8
Каротиноїди	13,4±0,01	67±0,04

Таблиця 4.

Вміст мінеральних елементів

Показники	Вміст	Добова потреба
Калій, мг	1230	2,0...4,0 г
Кальцій, мг	28670	0,8...1,2 г
Магній, мг	476	0,3...0,4 г
Фосфор, мг	412	1,0...1,2 г
Хлорид, мг	324	4,5...5,0 г
Натрій, мг	366	3,5...4,0 г
Залізо, мг	180	10,0...18,0 мг
Селен, мкг	76	150...200 мкг

З наведених даних видно, що, порівняно зі свіжою сировиною, вміст біологічно активних речовин у готовому продукті за рахунок концентрування у процесі сушіння перевищує аналогічні показники у декілька разів, що свідчить про його високу харчову та біологічну цінність. Поєднання біофлавоноїдів з аскорбіновою кислотою та каротиноїдами потенціює їхні властивості. Для композицій радіопротекторної дії суттєвим є також факт синергії вітаміну С та селену і сприяння відновленню у кишківнику іонів Fe^{3+} до Fe^{2+} , що є умовою всмоктування заліза – металу-мішені радіоактивного стронцію.

Аналогічні дослідження провели з люцерною, визначивши її основні біохімічні показники, передусім білкову складову. Наприклад, встановлено доцільність отримання дієтичних добавок з люцерною, оскільки її білкові сполуки майже на 70,0% представлені легкорозчинними компонентами високої біологічної цінності. Білки люцерни містять 18 основних амінокислот, серед них усі незамінні – ізолейцин, лейцин, лізин, метіонін, фенілаланін, треонін, триптофан, валін. Це свідчить про їхню біологічну повноцінність. Загальний вміст білків люцерни, залежно від сорту, становить від 3,2 до 4,8% до маси.

Літературні дані та отримані результати експериментальних досліджень дають підстави для формування дієтичної добавки радіопротекторної дії. При

створенні нової фітокомпозиції слід також урахувати синергізм дії аскорбінової кислоти з бурштиною (у співвідношенні 10 : 1), що сприяє відтворенню природних реакцій мобілізації енергетичного обміну в організмі [276]. Саме перетворення бурштинової кислоти пов'язане з виробленням підвищеної кількості енергії, необхідної для забезпечення життєдіяльності організму в умовах несприятливого екологічного довкілля. А взаємодія з аскорбіновою кислотою дає можливість значно підвищити потужність системи енерговироблення, активізуючи адаптаційні та резистентні властивості організму в умовах постійного радіоактивного опромінення малими дозами. Враховуючи усі зазначені чинники, пропонуємо такий якісний та кількісний склад композиційної суміші (по свіжій сировині):

ягоди чорної смородини – 68%; зародки пшениці – 10%; люцерна – 15%; чорний перець – 2%; бурштинова кислота – 5%.

У такій композиції дотримано оптимальне співвідношення між вмістом аскорбінової кислоти та біофлавоноїдами (1 : 4) і аскорбіновою та бурштиною кислотами (10 : 1).

Усі компоненти суміші отримуємо у вигляді сухих матеріалів із застосуванням низькотемпературного сушіння. Особливістю отримання компонентів дієтичної добавки є те, що всі складники потрібно сушити окремо, адже вони мають різну вихідну вологість. При цьому температура залишається в межах 40-45 °С, а тривалість буде визначатися початковою вологістю матеріалу і необхідністю отримання сухого продукту з вологістю 10-12%. Отримана добавка відповідає принципам харчової комбінаторики і формулі харчування XXI століття: «якість, безпека, ефективність».

Послідовність отримання дієтичної добавки така: попередньо підготовлені висушені матеріали, відповідно до рецептури, подрібнюють до дисперсності 150-250 мкм і змішують у необхідних пропорціях, основну частку яких становить порошок ягід чорної смородини (65%). Отриману суміш можна представити у вигляді порошку, гранул, мікрокапсул. Дієтичну добавку використовують як додаткове джерело сполук антиоксидантної дії або для збагачення традиційних

харчових середовищ і, оскільки дієтичні добавки належать до групи харчових сполук, а не фармпрепаратів, то розраховувати добову дозу їх вживання не потрібно, а лише орієнтуватись на рекомендації з добових потреб в основних біокомпонентах.

Наводимо орієнтовний склад дієтичної добавки за основними біокомпонентами (на 100 г добавки): вміст пектинових речовин – 9,6-14,0 г; вміст білків – 12,8-15,6 г; вміст аскорбінової кислоти – 160-201 мг%; вміст поліфенольних сполук – 2345-2470 мг%; вміст каротиноїдів – 12-16 мг%; вміст кальцію – 24015 мг%; вміст калію – 1020 мг%, вміст бурштинової кислоти – 5 г.

Рівень мікробіологічної чистоти такої композиційної суміші у вигляді дієтичної добавки як щойно отриманої, так і через 6 місяців зберігання не перевищує гігієнічних нормативів (таблиця 5).

Таблиця 5.

Рівень мікробіологічної чистоти дієтичної добавки

Показник	Гігієнічний норматив	Щойно отримана	Через 6 місяців зберігання
МАФАнМ, КУО/г	$5,0 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$
БГКП (коліформи) в 0,1 г	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено
Плісені, КУО/г	$5,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено
Дріжджі, КУО/г	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено

На підставі літературних даних зроблено висновок, що малі дози іонізуючої радіації підвищують частоту генетичних порушень в опромінених клітинах організму. Це викликає різноманітні генетичні дефекти, що, окрім виникнення різних захворювань, призводить до народження дітей зі спадковими аномаліями. Використання штучних ентеросорбентів та класичних медикаментозних радіопротекторів неефективне для масової профілактики радіаційних уражень. Більш того, фахівці-радіобіологи переконані, що у вирішенні проблеми первинної та вторинної профілактики застосування таких препаратів є інколи

навіть шкідливим. Їх використання виправдане лише в разі гострих променевих уражень. Тому таку профілактику доцільно реалізувати аліментарним шляхом. Це пов'язано з розробленням і виробництвом дієтичних добавок із оптимальною концентрацією сполук радіопротекторної, адаптогенної, антиоксидантної дії. Їх постійне надходження в організм людини зменшує дозу внутрішнього опромінення, прискорює процес декорпорації радіонуклідів, підвищує стійкість організму до несприятливих зовнішніх впливів. Сільськогосподарська, лікарська, дикоросла сировина, розповсюджена на території України, є багатим джерелом сполук-протекторів. Науково обґрунтований вибір рослинних культур і створення композицій цільового призначення дає можливість розробити рецептури нових продуктів, дієтичних добавок для масової профілактики радіаційних впливів.

Такими є основні напрями протипроменевого використання компонентів харчових продуктів та дієтичних добавок як засобів подолання певних механізмів променевого ураження. Зрозуміло, що найбільш перспективними є ті дієтичні добавки, котрі діють на декілька механізмів регулювання процесів в організмі людини, для виробництва яких в Україні є достатня кількість сировини і які мають компоненти з вираженими радіопротекторними, антиоксидантними, адаптогенними властивостями. Використані в роботі ягоди чорної смородини, люцерна, зародки пшениці, чорний перець, бурштинова кислота є досить перспективними для виробництва дієтичних добавок. Разом з тим, спектр рослинної сировини для дієтичних добавок цільового призначення може бути значно розширений, тобто даний напрям роботи є перспективним і вартим уваги науковців та практиків.

SECTION 7. INFORMATION TECHNOLOGIES

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.7.1

7.1 Методологічні засади маршрутизації в мережах спеціального зв'язку**Вступ**

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) активно використовуються в усіх сферах життєдіяльності людей. Створення інтелектуальних СППР стало природним продовженням широкого застосування СППР класичного типу. Інтелектуальні СППР знайшли широке використання для вирішення специфічних завдань військового призначення, а саме [278, 279]:

- планування розгортання, експлуатації систем зв'язку та передачі даних;
- автоматизація управління військами та зброєю;
- збір, обробка та узагальнення даних та інш.

В зазначеній роботі ми обмежимося лише вузьким питанням, а саме питанням вибору раціонального маршруту передачі інформації в СППР мереж спеціального радіозв'язку в умовах дестабілізуючих впливів.

Проведений аналіз праць [278, 280–287] показав, що при передачі інформації між вузлами мереж спеціального радіозв'язку виникає ряд проблемних питань, а саме:

1. Передачі інформації відбувається в складній радіоелектронній обстановці на фоні навмисних та природніх завад.
2. Елементи системи радіозв'язку є об'єктами першочергового вогневого ураження за рахунок високої радіюпомітності для засобів радіорозвідки.
3. Висока динамічність зміни радіоелектронної обстановки в ході воєнного конфлікту.
4. Висока швидкоплинність ведення бойових дій (операцій).
5. Обмеженість енергетичного ресурсу батарей засобів радіозв'язку.
6. Наявність кібернетичних атак на елементи систем радіозв'язку.

Ці обставини обумовлюють пошуку нових наукових підходів та технологічних рішень, що дозволять:

- забезпечити гарантовану доставку повідомлень між вузлами радіомережі з заданою якістю;
- побудувати альтернативні маршрути передачі інформації в ході подавлення;
- врахувати вплив навмисних та природніх завад при передачі повідомлень між абонентами радіомережі;
- врахувати вплив засобів вогневого ураження та кібернетичних атак на систему радіозв'язку.

Для досягнення мети встановлюється така ціль:

- здійснити математичну постановку завдання маршрутизації в мережах радіозв'язку спеціального призначення;
- провести розробку методу маршрутизації в мережах радіозв'язку спеціального призначення;
- провести оцінку ефективності запропонованого методу.

7.1.2 Матеріали та методи дослідження

В ході проведеного дослідження використовувалися еволюційні алгоритми та штучні нейронні мережи, що еволюціонують – для вирішення задачі аналізу радіоелектронної обстановки, вибору раціонального маршруту передачі інформації та корегування баз знань. В зазначеному дослідженні також використаний розроблений в попередніх роботах метод навчання штучних нейронних мереж, який дозволяє проводити глибоке навчання штучних нейронних мереж. Сутність глибокого навчання полягає в навчанні архітектури, виду та параметрів функції належності. Також в зазначеному дослідженні використані методи багатовимірною опису радіоелектронної обстановки, що розроблені авторами раніше. Моделювання проводилося з використанням програмного забезпечення MathCad 2014 та ПЕОМ Intel Core i3.

7.1.3 Математична постановка завдання передачі інформації в умовах впливу дестабілізуючих впливів на систему радіозв'язку

Для опису математичної моделі мережі радіозв'язку спеціального призначення введемо необхідні позначення. Нехай $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – вузли радіомережі спеціального призначення. Для вузла з номером i будемо рахувати відомим (прогнозованим) час затримки передачі інформації на вузлі радіомережі $r_i(t)$ на момент часу $t = 1, 2, \dots, T$, який відповідає конкретному часовому проміжку часу затримки передачі інформації. Затримка обумовлена впливом дестабілізуючих факторів (вогневого ураження вузлів мережі, кібернетичними атаками та радіоелектронним подавленням).

Значення часу затримки передачі інформації на конкретному вузлі радіомережі спеціального призначення обчислюються безпосередньо шляхом аналізу наявної статистичної інформації та інш. Крім того, вважатимемо, що відомі межі z_i^{\min} та z_i^{\max} гранично допустимого часу затримки передачі інформації на конкретному вузлі радіомережі спеціального призначення та межі a_i та b_i можливого зниження та збільшення цього часу протягом одиниці виміру в процентах від загального часу. Позначимо планове знаходження пакету повідомлення на вузлі i на момент часу t через $z_i(t)$, який повинен відповідати умовам:

$$z_i^{\min} < a_i z_i(t) < z_i(t+1) < b_i z_i(t) < z_i^{\max}. \quad (1)$$

Позначимо через $x_{ij}(t)$ максимально допустимий обсяг інформації, що передається з вузла i у вузол j на момент часу t через радіомережу з обмеженнями на пропускну здатність каналів радіозв'язку пропускну здатністю радіоліній:

$$0 < x_{ij}(t) < x_{ij}^{\max}, \quad (2)$$

Вважатимемо, що на вузол i радіомережі на момент часу t припадає вплив певної частини дестабілізуючих чинників обсягом $y_i(t)$, що впливає на оперативність циркуляції інформації в радіомережі. Тоді прогнозований час затримки передачі інформації в вузлі радіомережі повинен відповідати вимогам:

$$z_i(t) + \sum_j k_{ji} x_{ji}(t) - \sum_j x_{ji}(t) = r_i(t) + y_i(t), z_i(T+1) = z_i. \quad (3)$$

В умовах (3) коефіцієнти k_{ji} визначають відсоток зниження оперативності передачі інформації на радіолінії $i-j$. Остання рівність відповідає періодичним (циклічним) процесам з довжиною періоду T , $T = (\tau_c, \tau_n)$, де тривалість повідомлень – τ_c , пауз після них – τ_n .

Як критерій ефективності системи радіозв'язку спеціального призначення можна прийняти сумарні часові затримки, пов'язані з передачею інформації з вузла l у вузол z за період спостереження в умовах впливу дестабілізуючих чинників:

$$t(l,z) < T, S(l,z) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де t – функція часу на маршруті $l-z$; S – сумарний час затримки передачі інформації на маршруті.

Запропонована в дослідженні динамічна модель у вигляді (1)–(4) відповідає задачі оптимізації маршруту передачі інформації в радіомережі. Це завдання можна віднести і до різновидів динамічних завдань маршрутизації з періодичним значеннями вершин і вузлів, що змінюються в результаті впливу дестабілізуючих чинників.

Враховуючи зазначене, то необхідно провести створення методів (методик) маршрутизації, що повинні задовольняти наступному комплексу вимог:

- можливість агрегування різнорідних показників (як кількісних, так і якісних) оцінки та вибору рішень, що розрізняються по вимірювальним шкалами та діапазонами значень;

- врахування сумісності і різної значимості часткових показників в узагальненій оцінці рішень;

- гнучке налаштування (адаптація) оціночних моделей при додаванні (виключенні) показників і зміні їх параметрів (сумісності та значущості показників);

- висока оперативність прийняття рішень в умовах невизначеності.

Розробка методу маршрутизації в мережах радіозв'язку спеціального призначення

Метод маршрутизації в мережах радіозв'язку спеціального призначення на основі мурашиного алгоритму складається з наступної послідовності дій:

Дія 1. Ініціалізація. На даному етапі система радіозв'язку представляється в вигляді направленої графу. Ініціалізація складається з початкових значень параметрів алгоритму, таких як кількість мурах, коефіцієнт випаровування феромону, швидкість передачі інформації, заряд батареї, час передачі пакету, надійність передачі пакету та час затримки передачі інформації. В час затримки враховується вплив дестабілізуючих чинників. На даному етапі також враховується тип невизначеності про радіоелектронну обстановку та сукупність дестабілізуючих чинників на підставі доступних розвідувальних відомостей.

Дія 2. Початкове виставлення мурах. На цьому етапі мурахи розташовуються на початкових точках з яких відбуватиметься ітерація. Активний мурашка відноситься до мурашки, який ще не прибув до місця призначення і не заблокований на вершинах (вузлах). Оскільки кожен мураха може проходити кожен вузол один раз в кожній ітерації, мураха блокується в місці з'єднання, коли він не має шансів продовжити свій перехід до пункту призначення і не має можливого шляху для переміщення назад.

Дія 3. Побудова ймовірних маршрутів. На цьому етапі ймовірність кожного можливого прямого маршруту обчислюється на основі його функції витрат для кожної активної мурахи. Ймовірнісний перехід мурашок між вузлами також може бути заданий як правило переходу вузла. Ймовірність переходу k -ю мурахою від вузла i до вузла j задається:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{h \notin tabu_k} (\tau_{ih})^\alpha (\eta_{ih})^\beta} & j \notin tabu_k, \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (5)$$

де τ_{ij} та η_{ij} інтенсивність феромонів і вартість маршруту між вузлами i та j , відповідно. Відносне значення τ_{ij} та η_{ij} контролюються параметрами α та β , відповідно $tabu_k$ це список недоступних маршрутів (відвіданих вузлів) для мурахи k . Неприпустимі маршрути враховуються відповідно до еліпсів

подавлення системи радіозв'язку засобами радіоелектронного подавлення, відділення від засобів вогневого впливу на систему радіозв'язку.

Дія 4. Вибір маршруту. Випадковий параметр $0 \leq q \leq 1$ з однаковою ймовірністю порівнюється з параметром Q , де $0 \leq Q \leq 1$. Результат порівняння між Q і q бере один з двох методів вибору активною мурахою маршрут наступного переходу таким чином:

$$j = \begin{cases} \arg \max(p_{ih}^k) & q > Q, \\ \text{Колесо рулетки} (p_{ih}^k) & \text{інакше.} \end{cases} \quad (6)$$

Якщо q більший Q , активний мураха вибирає маршрут з найбільшою ймовірністю, інакше, правило колеса рулетки вибирається для вибору наступного переходу через ймовірності.

Дія 5. Оновлення списку Tabu. На цьому етапі маршрут (вибраний вузол), який мурахою k було вибрано, додано до переліку в таблиці. Це направлення не буде повторно обрано, а його ймовірність більше не обчислюється. Якщо мураха k дійшла до пункту призначення або була заблокована на вершині (вузлі), цей крок деактивує заблоковану чи прибувшу в поточній ітерації мурашу.

Дія 6. Оновлення феромону. Система феромонів в мурашиному алгоритмі складається з двох основних правил: спочатку застосовується під час побудови рішень (локальне правило оновлення феромонів), а друге правило застосовується після того, як всі мурашки закінчили побудову рішення (правило оновлення глобальної феромони). Сума феромонів маршруту між переходами i та j оновлюється для k -ї мурашки як:

$$\tau_{ij}^{new} = \tau_{ij}^{old} + (10 \times \Delta\tau) \quad (7)$$

де $\Delta\tau$ кількість місцевого оновлення феромонів. Значенням $\Delta\tau$ є вихідна система нечіткої логіки, що розроблена авторами в роботі [278].

Вхідні данні нечіткої логіки є “швидкість передачі інформації”, “заряд батареї”, “час доставки пакету”, “надійність доставки пакету” напрямку який був обраний k -ю мурашкою, “ймовірність бітової помилки”. Розглядаючи

обчислювальні складності, для кожного входу визначаються лише чотири вхідних нечітких множини, “Low”, “Weak”, “Medium” і “High”. Для вихідної змінної розглядаються тринадцять нечітких множин. На заключному етапі, дефазифікації методів, у цій системі нечіткої логіки застосовується метод “центру тяжіння” для вирішення одного вихідного значення з нечіткого набору. Тому напрями з більш вищими показниками дозволяють досягти більшого місцевого оновлення феромонів.

Дія 7. Глобальне оновлення феромонів. Відбувається за виразом:

$$\tau_{ij}^{new} = \rho \tau_{ij}^{old}, \quad (8)$$

де $0 \leq \rho \leq 1$ коефіцієнт випаровування і зазвичай встановлюється на 0,9.

Дія 8. Формування бази даних маршрутів. База даних маршрутів включає в себе наступні складові: кеш тимчасових маршрутів, база знань маршрутів, таблицю маршрутизації.

Кеш тимчасових маршрутів містить інформацію про маршрутизацію необхідну для вузла. Вузол додає інформацію до кешу маршрутів коли вивчає нові зв'язки між вузлами в радіомережі. Для прикладу вузол може вивчити прийнятих з пакетів запиту маршруту, пакетів відповіді маршруту, вихідний маршрут. Також вузол видаляє з кешу маршрутів ті зв'язки між вузлами які в радіомережі які мають розірвані зв'язки. Для прикладу вузол може дізнатися про розірване посилання отримавши пакет, що містить інформацію про помилку маршруту або через механізм повторної передачі канального рівня моделі OSI рівня шляхом отримання помилки передачі під час передачі кадру до вузла наступної стрибка. Щоразу коли вузол додає інформацію до кешу маршрутів, вузол перевіряє свій кеш на наявність маршруту до цільової адреси в кеш-пам'яті у разі наявності такого маршруту то вузол відправляє пакет за цим маршрутом та видаляється з кешу відправлення. Це дозволить використовувати мережу з іншими зовнішніми мережами. База знань зберігає всі вивчені маршрути з показниками залишкового заряду батареї, швидкості передачі даних, час затримки на маршруті, надійності маршруту, завантаженості маршруту та кількості ретрансляцій (хопів). База даних наповнюється шляхом вивчення

інформації про маршрут з пакетів передачі даних, та з пакетів запиту маршрутів. На основі бази знань відбувається формування таблиці маршрутизації. Відбувається формування вартості маршруту за допомогою нечіткої логіки, використовуючи модифікований алгоритм мурашиних колоній виконується пошук найкращого маршруту, та в подальшому знайдені маршрути записувати до таблиці маршрутизації. До таблиці маршрутизації записуються не більше чотирьох наявних маршрутів. У разі перевищення кількості маршрутів до вузла призначення вибираються шляхом ранжування кращі чотири маршрути. Наявність декількох маршрутів в таблиці маршрутизацію дає змогу робити балансування завантаженості маршрутів

Дія 9. Визначення маршруту передачі пакету з врахуванням якості обслуговування. Система прийняття рішення направлення IP пакетів з врахуванням наявних маршрутів в базі даних маршрутів приймає рішення щодо відправки IP пакету відповідним маршрутом до вузла призначення з врахуванням QoS. Система прийняття рішення направлення використовує та виконує кроки відповідно до методу прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних в мережах з можливістю до самоорганізації, що представлений в роботах [278, 279].

Дія 10. Запис IP пакету до кешу вихідних IP пакетів очікуючи своєї черги на надсилання пакету та доступного з'єднання в протоколі канального рівня моделі OSI.

Моделювання проводилися при наступних параметрах:

– засоби радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти (ППРЧ): діапазон частот – 30–512 МГц; потужність передавача – 10 Вт; ширина смуги частот, що випромінюється – 12,5 кГц, чутливість приймача –120 дБ; кількість ЗРЗ в мережі – 5; кількість частотних каналів для переналаштування – 10000; кількість перестроювання – від 333,5 до 1000 стрибків/сек;

– комплексів радіоелектронного подавлення (РЕП)–2; діапазон частот – 30–2000 МГц; потужність передавача – 2000 Вт; максимальна смуга частот, що може бути подавлена одночасно – 80 МГц, тип завади – шумова загороджувальна

завада з частотною маніпуляцією, як одна з найбільш поширених та вплив якої добре відомий; стратегія комплексу РЕП-динамічна.

До ПЕОМ було підключено 4 програмовані приймопередавачі LimeSDR (США) з програмним забезпеченням GNU Radio (Німеччина) та підключено до генератора шуму RIGOL DG5252 (Німеччина), що імітував роботу комплексу РЕП (рис. 1).

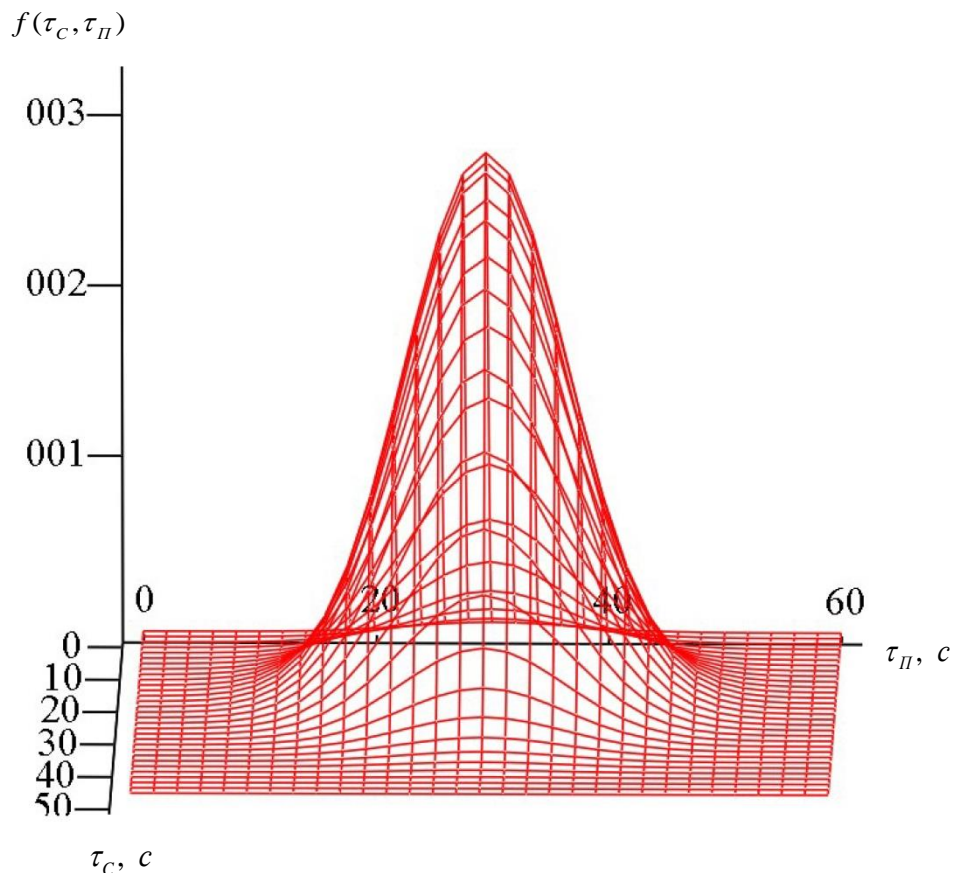


Рис. 1 Залежності тривалості повідомлень від часу реакції комплексу РЕП

Аналіз отриманих залежностей (рис. 1) показує, що значення $f(\tilde{\tau}_c, \tilde{\tau}_n)$ (рис. 1, а) менше за порогове значення. Тому в даному випадку рішення приймається переважно на основі аналізу змін тривалості повідомлення, на яке здійснювався вплив перешкод ($\tilde{\tau}_c$), та паузи після нього ($\tilde{\tau}_n$).

Для демонстрації ефективності навчання штучної нейронної мережі, що еволюціонує, був проведений прогноз часової захищеності мережі. Штучна

нейронна мережа, що еволюціонує використовувалася безпосередньо для навчання баз знань мурашиного алгоритму. Для проведення експерименту використовувалася навчальна вибірка, що містить дані про об'єкт моніторингу. Для експериментів використовувалося 5000 спостережень із цієї вибірки. Навчальна вибірка містила 3000 спостережень, тестова – 2000 спостережень.

У якості критерію якості прогнозування використовувався квадратний корінь із середньоквадратичної помилки.

Для порівняння якості прогнозування використовувалися багат шаровий перцептрон (MLP), радіально-базисна нейронна мережа (RBFN) та штучна нейронна мережа, що еволюціонує.

Результати прогнозування для різних систем представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати прогнозування для різних систем

Назва системи	Кількість параметрів, що налаштовуються	RMSE (навчальна)	RMSE (тестова)	Час, с
Багат шаровий перцептрон	51	0.1058	0.1407	0.1081
Радіально-базисна нейронна мережа	21	0.1066	0.2155	0.1081
Еволюціонуюча каскадна система з нео-фаззі вузлами	20	0.0784	0.1081	0.1081

Зазначені результати видно з результатів в останніх строках табл. 1, як різниця індексу Ксі-Бені.

Основними перевагами запропонованої методики оцінки є:

– має гнучку ієрархічну структуру показників, що дозволяє звести завдання багатокритеріального оцінювання альтернатив до одного критерію або використовувати для вибору вектор показників;

– однозначність отриманої оцінки стану маршруту передачі інформації ;

– широка сфера використання (системи підтримки та прийняття рішень);

– простота математичних розрахунків;

– не накопичує помилку навчання;

- можливість адаптації системи показників в ході роботи;
- навчання не тільки синаптичних ваг штучної нейронної мережі, але й виду та параметрів функції належності;
- навчання архітектури штучних нейронних мереж;
- обчислення даних за одну епоху без необхідності зберігання попередніх обчислень;
- легкість адаптації до роботи в динамічних додатках;
- спирається на пам'ять про всю колонію замість пам'яті лише про попереднє покоління.

Варто відзначити, що запропонована процедура навчання показала кращий за критерієм РС (partition coefficient, РС – коефіцієнт розбиття) результат в порівнянні з EFCM і кращий за часом роботи результат в порівнянні з FCM. Дослідження показало, що зазначена процедура навчання забезпечує в середньому на 10–18 % більшу високу ефективність навчання штучних нейронних мереж та не накопичує помилок в ході навчання (табл. 1)

До недоліків запропонованого методики слід віднести:

- зміна розподілу ймовірностей вибору маршруту передачі при ітераціях оцінки стану маршруту передачі інформації;
- необхідність подальших досліджень для підвищення оперативності визначення часу збіжності;
- потрібне застосування додаткових методів, таких як локальний пошук;
- залежність від розвідувальних даних для настроювання параметрів, які підбираються лише виходячи на підставі наявних даних.

Зазначена методика дозволить:

- провести оцінку стану системи радіозв'язку та обрати раціональний маршрут передачі інформації;
- визначити ефективні заходи для підвищення ефективності управління;
- зменшити використання обчислювальних ресурсів систем підтримки та прийняття рішень.

За результатами проведеного аналізу ефективності запропонованої методики видно, що її обчислювальна складність на 15–25 % менше, у порівнянні з методиками, що використовуються для оцінки ефективності прийнятих рішень, які представлені в табл. 1. Зазначене дослідження є подальшим розвитком досліджень, що спрямовані на розробку методологічних засад підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення, що опубліковані вже раніше [278, 279, 287].

Напрямки подальших досліджень слід спрямувати на зменшення обчислювальних витрат при обробці різнотипних даних в системах спеціального призначення.

Висновки

1. Запропонована в дослідженні динамічна модель оптимізації маршруті передачі інформації в радіомережі. Запропоновану модель відноситься до динамічних завдань маршрутизації з періодичними значеннями вершин і вузлів, що змінюються в результаті впливу дестабілізуючих чинників. Як критерій ефективності системи радіозв'язку спеціального призначення можна прийняти сумарні часові затримки, пов'язані з передачею інформації з вузла відправника до вузла адресата за період спостереження в умовах впливу дестабілізуючих чинників.

2. В ході дослідження розроблено метод маршрутизації в мережах радіозв'язку спеціального призначення, що дозволяє:

- провести вибір раціонального маршруту передачі інформації в умовах невизначеності;

- провести навчання штучних нейронних мереж для інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

- обробляти значення зв'язків між факторами, що представлені в вигляді чисел, вербальних описів, інтервалів, нечітких трикутних та трапецієвидних чисел.

3. Проведений приклад використання запропонованого методу на прикладі вибору маршруту передачі інформації в умовах впливу дестабілізуючих чинників. Зазначений приклад показав підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 15–25 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

7.2 Communication networks of the fifth generation forced to reconsider ideas about data security, the principles of managing them and ensuring control over the operation of connected devices. With the advent of 5G services, new attack vectors have emerged and attackers have new targets

5G mobile communication networks are already operating or being launched in all developed countries. In October 2019, Huawei alone received more than fifty contracts for the installation of 5G equipment in 30 countries, and ZTE Corporation signed 35 contracts. At the same time, the features of 5G technology from the point of view of security have not yet been fully studied, which gives rise to problems with trust in such networks. As a result, a number of governments have chosen to take a conservative, prudent approach to 5G deployment, and many organizations, given the novelty of 5G, are actively interested in the security of these networks. The EU report noted that the deployment of 5G could lead to situations where hostile states take control of critical infrastructures: power grids, hydrocarbon processing plants, transport systems, pipelines, unmanned vehicles, police communications systems, household appliances, etc. As a result, no trust in 5G equipment vendors from certain countries. According to another report, governments can require such vendors to help launch cyberattacks on behalf of their countries.

5G security

5G networks have built-in security features. In particular, virtualization allows you to minimize the use of physical equipment to manage the network and perform network functions on them. The same feature allows you to minimize cyber-attacks. With the help of authentication systems, 5G operators can identify various devices: smartphones, sensors, household appliances and send security updates to them. In addition, application vendors are developing systems that provide end-to-end data encryption. In 2018, approximately half of the Internet traffic was encrypted, and this figure is constantly growing.

However, due to the novelty of 5G, the vulnerabilities of such networks are not yet known. Some research groups have already discovered more than a dozen weaknesses in 5G protocols that can be used by attackers to locate subscribers,

downgrade networks to 4G levels, monitor calls, messages and online activity, and perform other malicious actions. The researchers carried out attacks to downgrade subscriber devices using inexpensive software-defined radio transmitters, and they were able to obtain the IMEI number of the attacked device.

In table. 1 shows the main characteristics of 5G related to security. First, 5G networks have more bandwidth and less latency. According to Verizon, in Chicago, the maximum 5G download speed was 1.1 Gbps, while the average 4G download was between 15.3 and 28.8 Mbps, depending on the time of day. However, the disadvantage of high speed is that when a device is hacked on a 5G network, attackers will get personal data and other sensitive information much faster than in the case of 4G. They can take advantage of the low latency and high bandwidth of new types of networks to increase the scale of distributed DoS attacks. Higher speeds expand the capabilities of attackers, including in terms of using the huge amounts of data exchanged by information systems, as well as artificial intelligence complexes and IoT groupings.

In addition, 5G networks will be used by peripheral devices that perform calculations and store data not in centralized environments, but closer to their sources of creation. While these capabilities reduce costs, conserve bandwidth, and reduce network latency, they do come at the cost of reduced security. Attackers can install backdoors on mobile base stations to intercept and manipulate data at access points. In such situations, it is not easy to recognize the activity of intruders - systems may not show signs of anomalies, even when an attacker copies and changes data.

Moreover, to manage software-defined networks (Software-Defined Network, SDN) and segmentation of 5G networks (slicing, splitting into independent segments with different characteristics), artificial intelligence tools are widely used to help ensure high speed and low latency. In cases where artificial intelligence systems that are not designed to work in a 5G environment are used for this, there may be vulnerabilities in them. By compromising the SDN controller, an attacker can gain privileged access to devices running under his control, which can lead to significant damage.

Thanks to the capabilities of SDN, the 5G network can be divided into several segments optimized for different tasks. However, each segment can have its own security capabilities. For example, communication systems for emergency services may be better protected than online gaming platforms.

Table 1.

Safety features of 5G

Peculiarity	Explanation	Impact on safety
Speed and Latency	Higher speeds: If in 4G networks, the speed is up to 100 Mbps, then in 5G networks - 10 Gbps. Lower delay value: 4G - 50ms, 5G - 1-2ms.	Attackers can get data from hacked devices faster and carry out larger DDoS attacks. Crackers acquire wider technical capabilities.
Data transfer and storage	Collected data is often stored at the edge rather than centrally.	On the periphery, the level of security may be lower than in the center. Attackers are able to install backdoors on mobile base stations in order to intercept data directly at radio network access points.
Use of SDN, artificial intelligence, machine learning	SDN and artificial intelligence are used to implement the functions used by various systems and provide the desired speed and latency.	There can be gaps in artificial intelligence systems. In the event of a compromise of the SDN controller, the hacker gains access to the device controlled by him.

Continuation table 1

Network segmentation	The network cannot be divided into logical segments providing different services	Depending on the needs of users, you can flexibly change the levels of security available to them.
Connected devices	If 4G is predominantly mobile phones, then 5G is a much wider range of devices.	The attack surface may increase. Inexpensive networked devices often lack the necessary security features.
Application specifics	Highly specialized applications possible	Hacking critical systems can be disastrous. Attackers have access to more technical options.

A wide range of devices of various kinds can be connected to the 5G network: the developers of 5G standards have provided the ability to connect to networks of at least 1 million devices per square kilometer. As the number of low-cost, low-security devices on 5G networks increases, so does the attack surface. This is due to the fact that most of these devices cannot be equipped with a firewall due to insufficient memory capacity. Gartner predicts that IoT devices will grow from 14.2 billion to 25 billion between 2019 and 2021, accounting for 16% of traffic and 78% of malware. Owners of such devices may be reluctant to protect them for financial and practical reasons.

Unlike previous generation networks, 5G networks can be used for more specialized applications, including mobile medicine and autonomous vehicles. The security issues associated with such an application carry more risks.

5G, business and government

5G networks bring new architectures, business models, jobs and security gaps. To meet new requirements related to authentication, accountability and failure prevention, cybersecurity models need to be adapted.

In table. Figure 2 summarizes the findings on how organizations perceive the issue of 5G network security. Some reacted negatively to the innovation, which led to a slowdown in implementation. According to the surveys, the doubts expressed in organizations are mainly related to the specifics of 5G. In the governments of advanced countries, concern was caused by the fact that 5G equipment is supplied by Chinese companies, led by ZTE and Huawei. The United States, Australia and New Zealand have imposed bans on purchasing 5G equipment from Huawei, and Japan has banned purchases from ZTE as well.

In October 2019, the US Federal Communications Commission recommended that government contractors be banned from purchasing equipment and services from ZTE and Huawei. The regulator explained this by saying that if 5G equipment is operating, for example, near an American military base, China may require the manufacturer to install a backdoor or malware, and the US authorities will not even have the opportunity to find out.

Table 2.

A look at 5G security

Survey Initiator	Time of publication	Results
Ericsson, 5G readiness survey	2017	Representatives of various industries were interviewed, 79% of them admitted that security and privacy concerns hinder the implementation of 5G. The issue of security ranked third among the most important features of 5G services.
Osborne Clarke (international law firm)	January, 2019	Security and privacy surveys are delaying IoT and 5G adoption in the energy industry, according to 74% of respondents.

Continuation table 2

Business Performance Innovation Network together with A10 Networks	May, 2019	Among mobile device users, 84% expressed concern that the introduction of 5G will lead to a significant increase in security and reliability problems.
Reuters, survey among Japanese companies	May, 2019	88% of those surveyed would prefer to receive 5G services from national providers.
Survey conducted by Opinion Matters among CIOs and Chief Security Officers of organizations in Singapore	September, 2019	The vast majority, 98% of respondents, expressed doubts about the security of 5G networks. Among them, 55% believe that 5G will create the possibility of more destructive cybercriminal activity, and 54% believe that with the introduction of 5G, there will be greater opportunities for cyberattacks.

Since Huawei was blacklisted by the Department of Commerce, Google has been unable to provide Android services, updates, and apps to Huawei's 5G smartphones, delaying sales of Huawei Mate 5G smartphones in Europe, Huawei's second largest market after China.

Concerns about the security of cooperation with Chinese companies have also begun to be expressed in the EU countries: officials expressed concerns about the use of 5G technologies in critical infrastructure, including in traffic control systems, rail transport and household appliances. Companies like Huawei are said to be required by Chinese law to cooperate with national intelligence agencies. As a result, for example, most Japanese companies prefer to receive 5G services from local operators (Table 2), and in January 2019, the British telecommunications operator Vodafone, operating in

26 countries, decided to suspend the use of Huawei equipment in a number of European countries for security reasons.

5G networks are redefining data security, governance and control. With the advent of 5G services, new attack vectors are emerging and attackers are gaining access to more targets.

Cyber security aspects of 5G

To protect 5G networks from hacking, cybersecurity technologies need to be significantly improved. Some problems are related to the network itself, others are related to the devices connected to it. Both can be a source of risk for consumers, commercial and government organizations.

Let's consider the main problems of information security in a new generation network.

Security decentralization. Before 5G, networks had fewer physical links, making them easier to secure and maintain. More routing points are needed for dynamic 5G software-based systems. And to ensure security, each of them must be constantly checked. It may seem difficult, but even one unsecured link can undermine the security of the rest of the network components.

High throughput requires a revision of protection methods. The speed and performance of modern networks are limited, which actually makes it easier for providers to monitor the level of network security in real time. Therefore, the advantages of the extended range of the 5G network can simultaneously compromise its security. Developers will have to think about new methods to deal with modern threats.

Many IoT devices are not secure. Cybersecurity is not a priority for all manufacturers, especially for budget smart devices. 5G brings new opportunities for using the Internet of things. the more hacking options. Smart TVs, door locks, refrigerators, speakers, and even something as small as an aquarium thermometer can be a vulnerable point in your network. The lack of a security standard for IoT devices can lead to a massive increase in cybercrime.

The lack of encryption when establishing a connection opens up access to information about the device, which criminals can use to target such a device through an IoT connection. By intercepting unencrypted data, attackers will know exactly which devices are connected to the network. Knowing the type of operating system and device (smartphone, car router, etc.), attackers will be able to plan their attacks more accurately.

Device vulnerabilities are used to attack a wide variety of types. Let's list the main ones.

Botnets control network-connected devices for a massive cyberattack.

DDoS attacks overload a network or site in order to block their access to the internet.

A man-in-the-middle attack (MiTM attack) is the stealthy interception and modification of messages exchanged between two parties.

Location tracking and call interception is not a problem for those who know a little about paging protocols in broadband systems.

The Future of 5G and Information Security

To reduce the vulnerability of national mobile networks, developers will need to carefully consider the aspects of 5G security.

First of all, it is necessary to develop the principles of cybersecurity in 5G networks. Providers will have to work on software protection against the threats that we may face in the 5G network. They will have to work with IT companies to develop solutions for encryption, network monitoring and other protection tools.

Manufacturers need motivation to increase the level of protection of their products. The overall level of protection of a 5G network is determined by the level of protection of its weakest links. But the cost of developing and bringing devices to the market with an increased level of protection for manufacturers is not at all encouraging. This is especially true for budget products such as children's smartwatches and cheap baby monitors. If the benefits exceed the total costs, this motivates manufacturers to increase the security of their devices.

Consumers need to be educated about cybersecurity for IoT devices. The wide range of protection levels means that product labeling standards may be required. Because there is no way for consumers to know how secure a particular gadget is, manufacturers of smart devices may be required to label them. Federal Commission The US Communications Service is classifying other types of radio transmission and may soon include IoT devices in this classification. In addition, users need to be explained that updating software improves the security of all gadgets connected to the Internet.

Work on strengthening security is ongoing in parallel with the rollout of the first 5G networks. But we need to get real results first in order to carefully work out ways to protect, so the work will continue after the introduction of 5G.

How to Prepare for the 5G Era

The buzz around 5G networks may make it seem like the era has already arrived, but in fact, you still have time to prepare. The introduction of new technology will be a long one, although some changes are already beginning to appear. We recommend that you take care of the security and privacy of your data yourself.

Use a VPN to keep your data private and hide your browsing history.

Use strong passwords. Always use the most complex passwords. The best password is a long set of random characters of various types. Use lowercase and uppercase letters, special characters, and numbers.

Change the default administrator account passwords on all IoT devices. Follow the manufacturer's instructions to change the administrator account name and password on all gadgets. If the required information is not in the manual, contact the manufacturer directly.

Install the latest security patches on all IoT devices. Regularly update your mobile phone, computer, all smart home devices, and even your car's infotainment system - anything that connects to the internet uses Bluetooth or other communication protocols. Update applications, firmware, operating system, etc.

7.3 Формування інформаційної QR – технології моніторингу стану поверхневих вод на територіях, які постраждали внаслідок бойових дій

Агресія з боку РФ та багатоденні військові дії на теренах України призвели попри величезних людських втрат та порушення цивільної інфраструктури до значного погіршення стану навколишнього середовища. І це має додатковий сумуючий ефект з раніше визнаними негативними чинниками. По-перше, існуючи «базові» умови території України відзначають необхідність ретельного моніторингу стану навколишнього середовища. Значні антропогенні впливи, пов'язані із діяльністю промисловості, сільськогосподарського та житлово-комунального сектору порушують довкілля значним чином та викликають занепокоєння всієї світової спільноти.

Для міст, що є осередками антропогенної діяльності, ситуація може бути ускладнена комплексним впливом низки негативних чинників, таких як автотранспорт [291], промисловість [292, 293], поверхневий стік [294], побутові відходи [295, 296] тощо. Ці фактори часто чинять сумарний ефект на елементи довкілля та вказують на нагальну потребу інноваційних підходів до збереження природної складової міст [297, 298].

По-друге, серед іншого можна відзначити додатковий вплив медичних відходів, що утворились при пандемії COVID -19, на стан зашарашеності міст та потребу в логістичній організації поводження з цією групою відходів [299, 300]. Має місце значне забруднення пластиком та мікропластиком від персонального захисного обладнання (маски, респіратори, рукавички, халати тощо), яке використовується при пандемії COVID -19, хоча відзначаються й малодосліджені хімічні впливи цих засобів на живі організми, водні об'єкти та ґрунти [301, 302].

В цих умовах актуальним питанням виступає дослідження стану водних об'єктів в місцях проживання населення та виокремлення чинників, що його визначають [303]. При цьому можуть застосовуватись різні методи та підходи. Так, в роботі [304] автори пропонують комплексне багатопараметричне

оцінювання стану міських річок з використанням онлайн моніторингу. Для дослідження було обрано 17 параметрів із 7 monitoring stations. При цьому додатково обчислювався індекс якості води. В роботі [305] використано параметр електропровідності для визначення антропогенних впливів окремих населених пунктів Полтавського регіону (Україна) на стан річки, що ними протікає. Дослідження складу і кількості фітопланктону було здійснено в роботі [306] з застосуванням біомаркерів та подальшою математичною обробкою отриманих даних. Отримані кореляційні залежності вказують на вплив фізико-хімічних параметрів на склад фітопланктону в міській Fenhe River (Китай).

Індекс якості води використано для визначення якості води джерел Кашмірської долини у зв'язку з їх географічним розташуванням, регіональними гідрогеологічними умовами, антропогенною діяльністю та зміною клімату [307]. Отримані дані вказують на потенційну можливість використання джерельної води для забезпечення попиту населення долини Кашемір (Індія) у питній воді.

X-ray fluorescence method використано для дослідження низки джерел питної води м. Харкова (Україна) [308]. Автори визначають вміст важких металів та звертають увагу на необхідність вжиття більш ефективних заходів до забезпечення якості деяких джерел. В роботі [309] автори використовують різні математичні методи обробки даних та відзначають, що машинне навчання має очевидні загальні переваги та є більш придатним для прогнозування класифікованої інверсії параметрів якості міської річкової води.

Додатковими ускладнюючими чинниками в містах виступають надзвичайні ситуації, які можуть несистемно виникати та вносити додаткові негативні наслідки в довкілля [310, 311]. При чому як ліквідація цих наслідків [312], так і прогнозування їх виникнення та розповсюдження [313] є окремим складним завданням.

Як приклади надзвичайних ситуацій, що пов'язані із зміною якості води в містах, можна відзначити пошкодження резервуарів в 2019 р. на очисній станції Czajka" у м. Варшава (Польща) [314] та подальший виток забруднюючих речовин в річку Вісла. Порушення цілісності відстійника в м. Байя Марє (Румунія) в 2000

р. [315] стало причиною потрапляння значної кількості ціанідів та важких металів [316] до річки Сасар та низки інших річок. Значні порушення довкілля та життєдіяльності людей надалі спричинили перегляд європейського законодавства щодо поводження з промисловими відходами та вплинули на роботу підприємства в частині захисту довкілля.

Вплив стихійних лих та ризику, що мають місце при забудові міст, розглянуто авторами роботи [317]. Досліджується взаємозв'язок повеней, соціальних чинників та зростання міської забудови в долині Катманду (Непал), а також вказується на необхідність політичних заходів для зменшення ризиків природної небезпеки. В свою чергу, в [318] автори наголошують на використанні Blue–Green Infrastructure for Flood Management in cities of Southeast Asia та необхідності подальших досліджень в цьому напрямку. В роботі [319] відзначається, що необхідні комплексні технічні та політичні дослідження, які б враховували потужності водопровідних систем та країн, а також потреби населення при надзвичайних ситуаціях на різних етапах їх розвитку.

Для централізованих систем водопостачання міст також опрацьовуються та розробляються різні варіанти реагування, що базуються на моніторингу стану низки чинників. Так, авторами [320] використовується набір інструментів для моделювання водного переносу в системі реального часу. Зокрема, відстежується рух води, його просторовий розподіл, зміна концентрації токсичних речовин тощо, які можуть спричинити надзвичайні ситуації, то оцінюються ризики виникнення останніх.

В той же час для окремих водних об'єктів, що розташовані в межах міст, подібні інструментарії реалізувати складно. Немаловажним при цьому виступають економічна доцільність та технічні можливості систем моніторингу.

У свою чергу, наслідки впливу боєприпасів на навколишнє середовище, в результаті ведення бойових дій, слід віднести до надзвичайної ситуації, яка спричиняє додатковий значний негативний вплив на водні об'єкти, що знаходяться в містах постійного проживання населення. При цьому організація моніторингу стану таких водних об'єктів, та попередження потенційних

надзвичайних ситуацій, пов'язаних із їх забрудненням, є актуальним питанням сьогодення, вирішення якого є окремим складним завданням.

Враховуючи вищезазначене, метою роботи є розробка організаційно-технічних методів здійснення моніторингу стану водних об'єктів в межах територій проживання населення, що постраждали внаслідок бойових дій.

Як базис в роботі пропонується використовувати методику попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з забрудненням водних об'єктів.

Те, що бойові дії чинять значний негативний та пролонгований вплив на стан довкілля та водних об'єктів, зокрема, відзначається в багатьох публікаціях.

Доповідь UNEP [321] зазначає, що бойові дії в Сирії, Іраці, на Донбасі (Україна) спричинили значні людські жертви, руйнування інфраструктури та потрапляння забруднюючих речовин в ґрунти, повітря, воду. Внаслідок пошкодження військової техніки, вибухів снарядів та знаходження в полях, воді значної кількості боєприпасів протягом довгого часу має місце потрапляння в довкілля важких металів, фосфору та інших небезпечних сполук, у тому числі і радіоактивних [322]

Відзначається, що бойові дії в Україні (2022 р.), зокрема, пов'язані із обстрілами міст, призвели до потрапляння в повітря значної кількості твердих часток, димових газів від вибухів боєприпасів та пожеж, що відбувались при цьому [323]. Відмічається, що осідання цих речовин призведе до підвищення забруднення водних об'єктів та ґрунтів на досить значних територіях. В той же час, складним питанням залишається селективність визначення забруднень та їх рівень.

В роботі [324] автори вказують на значне погіршення якості поверхневої води місцевості на півдні Іраку як наслідок військових дій та пропонують багатопараметричне дослідження із залученням прогностичних моделей для визначення їх стану. Доповідь OSCE щодо екологічних наслідків бойових дій на Донбасі (Україна) вказує на значне порушення довкілля та необхідність термінового вирішення екологічних проблем регіону. Відзначається також

необхідність економічної оцінки екологічних збитків внаслідок бойових дій на цій території [326].

В цілому, на сьогодні має місце недостатність наукових даних щодо впливу збройних конфліктів на водні ресурси та управління ними, а також відсутність концептуальних взаємодій в частині управління водними ресурсами при збройних конфліктах, що відмічається авторами [327].

Питання оцінки забруднення довкілля внаслідок вибухів боєприпасів має комплексний характер. Як наголошувалось вище, в умовах бойових дій в містах кількісно оцінити рівень забруднення довкілля або окремих його складових є дуже складною, практично неможливою, задачею, як і забезпечення екологічного моніторингу взагалі. Недостатня кількість фактичного матеріалу та складність отримання науково обґрунтованих даних спонукають робити певні припущення.

Так, багато дослідників для оцінки впливів на довкілля використовують дані щодо вибухів на складах боєприпасів, які мали місце раніше. Зокрема, в роботах [328, 329] автори аналізують чинники, що впливають на частоту надзвичайних ситуацій на артскладах, здійснюють кількісну оцінку боєприпасів, що вибухнули, та розрахунковим способом визначають, яка кількість ртуті потрапила в довкілля при вибухах певного виду боєприпасів. При цьому відсутні подальші прогностні впливи для населення та його життєдіяльності внаслідок такого забруднення.

Автори в роботах [330, 331, 332] відзначають значний екологічний вплив на довкілля вибухів боєприпасів. При цьому вони вказують, що єдина методика оцінки потенційного ризику життєдіяльності населення, що мешкає на прилеглий до аварійного об'єкту території відсутня. Як важливий елемент визначення екологічних наслідків вони пропонують оцінку ризиків захворюваності населення, обумовлене хімічним забрудненням питної води або атмосферного повітря, а також оцінку потенційного ризику життєдіяльності населення після аварії на складі боєприпасів. Розрахунок ризиків передбачає наявність експериментальних даних щодо стану атмосферного повітря або водного

об'єкта, що, відповідно, потребує додаткових досліджень. Ці ж автори зазначають, що внаслідок надзвичайної ситуації на складі боєприпасів в с. Новобогданівка (Україна) в атмосферне повітря потрапили сажа, пил, свинець та його сполуки, оксиди вуглецю, азоту та сірки [330, 331]. Перевищення цих забруднюючих речовин в атмосферному повітрі складало десятки тисяч разів. А отримані значення ризиків вказують на небезпеку як довготривалих вибухів для населення так й небезпеку при його знаходженні в 5-ти кілометровій зоні від осередку вибухів за використаних вихідних умов. Дані щодо вмісту важких металів в р. Молочна поблизу с. Новобогданівка (таблиця 1) дозволили авторам розрахувати ризики захворюваності населення, обумовлені хімічним забрудненням питної води [332]. Значення Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, Fe, виміряні у річці після вибухів боєприпасів, використано в розрахунках. Отримані значення коефіцієнта небезпеки і ризику канцерогенного ефекту для питного водозабезпечення населення вказали, що наявність сполук міді, цинку, марганцю та заліза підвищує показник сумарного коефіцієнту відносної небезпеки над прийнятним рівнем ризику.

При цьому слід відмітити таргетність досліджень, високу вартість та тривалість їх визначення.

Таким чином, можна відмітити, що існуючи підходи до оцінки впливів бойових дій на об'єкти довкілля, зокрема, водні об'єкти, розташовані в межах міських територій, потребують певних припущень та тривалих досліджень. Єдиної методології на сьогодні не існує.

Таблиця 1. Дані про утримання розчинних форм неорганічних сполук у поверхневих водах р. Молочна [332] внаслідок надзвичайної ситуації на складі боєприпасів в с. Новобогданівка

Параметр	Си	Mn	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni	Fe
Концентрація іонів у воді, мг/л	9,5±0,9	0,414±0,004	0,97±0,1	0,021±0,001	0,62±0,4	0,239±0,002	1,06±0,06	11,6±0,3
ГДК	0,1	1,0	1,0	0,01	0,03	0,05	0,1	10,0

При цьому слід відмітити таргетність досліджень, високу вартість та тривалість їх визначення.

Таким чином, можна відмітити, що існуючі підходи до оцінки впливів бойових дій на об'єкти довкілля, зокрема, водні об'єкти, розташовані в межах міських територій, потребують певних припущень та тривалих досліджень. Єдиної методології на сьогодні не існує.

Запропонований раніше [333, 334] авторський підхід в рамках методів попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з потраплянням забруднюючих речовин у воду та ґрунт, включає такі процедури як визначення електропровідності досліджуваних водних розчинів, розрахунок коефіцієнта ідентифікації [333, 335], порівняння з референтним значенням та оцінювання небезпеки від окремих етапів виробництва чи небезпечних чинників з подальшим прийняттям керівних рішень. Використання параметру електропровідності дозволяє експресно оцінювати загальний солеміст [335] водного розчину, а розрахунок коефіцієнта ідентифікації – ідентифікувати небезпеку. Цей підхід є екологічно безпечним та недорогим у використанні.

За запропонованим підходом у якості референтного значення коефіцієнту ідентифікації пропонувалось використовувати приписані значення коефіцієнту ідентифікації, отримані для досліджуваних елементів довкілля, зокрема водних об'єктів, протягом, певного часу (наприклад, декількох сезонів). І надалі з ними порівнювали подальші визначені значення цих коефіцієнтів для цих же об'єктів. Необхідність отримання декількох значень коефіцієнта ідентифікації протягом року є необхідною складовою довгострокового процесу своєчасної ідентифікації небезпеки та попередження надзвичайної ситуації, оскільки природні води, особливо поверхневі, є вразливими до факторів довкілля, які за своєю природою мають тривалий характер прояву та негативного накопичення.

Вибухи боєприпасів, як зазначалось вище, спричиняють значне забруднення довкілля і водних об'єктів в тому числі. При цьому має місце багатократне перевищення забруднюючих речовин над їх ГДК у довкіллі (табл.1), що ідентифікується фізичними та фізико-хімічними методами аналізу.

В умовах здійснення моніторингу стану таких об'єктів аналітична частина, очевидно, має вносити вагому частку в його економічне та технічне забезпечення.

В міських умовах, коли забруднення, внаслідок бойових дій, зазнають значні території з об'єктами інфраструктури, забезпечення моніторингу стану водних об'єктів може виступати як самостійним елементом дослідження стану довкілля, так і бути складовою частиною попередження надзвичайних ситуацій різного характеру.

Враховуючи вищезазначене, в роботі пропонується наступна методологія подальших досліджень та здійснення моніторингу стану водних об'єктів в місцях проживання населення, які що постраждали внаслідок бойових дій.

1. Вибір місць відбору проб води та періодичності досліджень
2. Вимірювання електропровідності проб води
3. Розрахунок коефіцієнтів ідентифікації досліджуваних проб води.
4. Порівняння з референтними значеннями коефіцієнта ідентифікації.
5. Прийняття управлінських рішень щодо стану вод.

Перший етап повинен враховувати розміри водного об'єкта, глибину відбору проб, ураженість території, ступінь забруднення вод тощо.

Другий етап передбачає безпосередньо експрес-дослідження електропровідності проб води. Може бути здійснений в лабораторних умовах або на місцевості.

На третьому етапі розраховується коефіцієнт ідентифікації досліджуваних проб. Цей етап також може бути проведений в польових умовах. Він може включати усереднення отриманих значень коефіцієнта ідентифікації з урахуванням статистичних критеріїв Грабса, Стьюдента тощо.

Четвертий етап є вирішальним в частині визначення стану водного об'єкта або окремих його складових. Він передбачає порівняння отриманих коефіцієнтів ідентифікації зразків води із даними, отриманими до початку бойових дій. В цьому випадку можливі сезонні флуктуації складу води вже не враховуються, бо переважаючим є вплив забруднюючих речовин внаслідок бойових дій (табл. 1).

Передбачається, що на цьому етапі здійснюється також ідентифікація небезпеки (які самі забруднюючі речовини або їх сукупність наявні у воді або які саме небезпечні чинники змінюють її стан).

Останній, п'ятий етап, передбачає прийняття необхідних управлінських рішень як в частині поводження з водним об'єктом, так і в частині першочергового зменшення впливу на нього небезпек. Його реалізація дозволяє цільово розподілити економічні ресурси та застосувати необхідні природоохоронні технології.

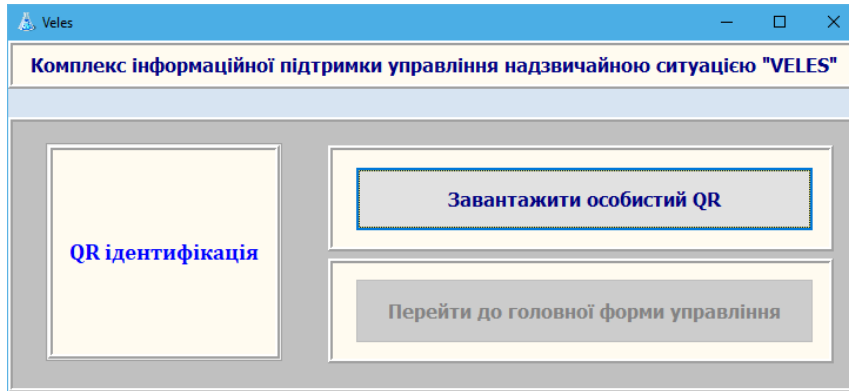
Очевидно, що кожен з цих етапів потребує вирішення окремих задач та реалізації додаткових процедур, що будуть індивідуальні для досліджуваних водних об'єктів.

Запропонована методологія здійснення моніторингу стану водних об'єктів в місцях проживання населення, що постраждали внаслідок бойових дій, може бути повністю або частково автоматизованим, в тому числі, й з застосуванням онлайн технологій. Він є на думку авторів, особливо необхідним для невеликих населених пунктів, що не мають значних економічних та технічних потужностей для інструментального тривалого моніторингу стану водних об'єктів в зазначених умовах. Можлива інтеграція даного алгоритму здійснення моніторингу стану водних об'єктів в систему цивільного захисту, зокрема, в частині попередження надзвичайних ситуацій.

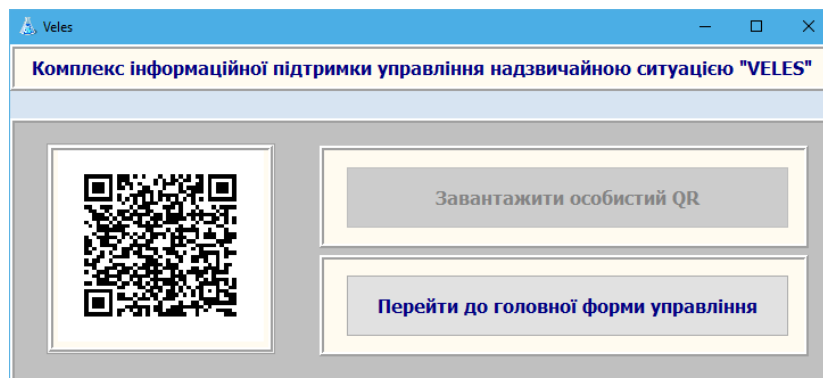
Наведене вище є основою створення інформаційної технології аналітичної підтримки QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на територіях як постраждали під час бойових дій створено мовою візуального програмування високого рівня Object Pascal у середовищі Delphi. Необхідна інформація для поповнення бази даних заповнюється за відкритими джерелами, наявною нормативною базою та наочним спостереженням. Інформаційна технологія має клієнт-серверну архітектуру (малюнок 1) і застосовує MySQL в якості системи управління та упорядкування базами даних.

Перший етап роботи з інформаційною технологією аналітичної підтримки QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на територіях

як постраждали під час бойових дій передбачає проходження персональної QR ідентифікації, що дозволяє забезпечити дотримання Загальноєвропейських принципів опрацювання персональних даних у відповідності до вимог (малюнок 2).

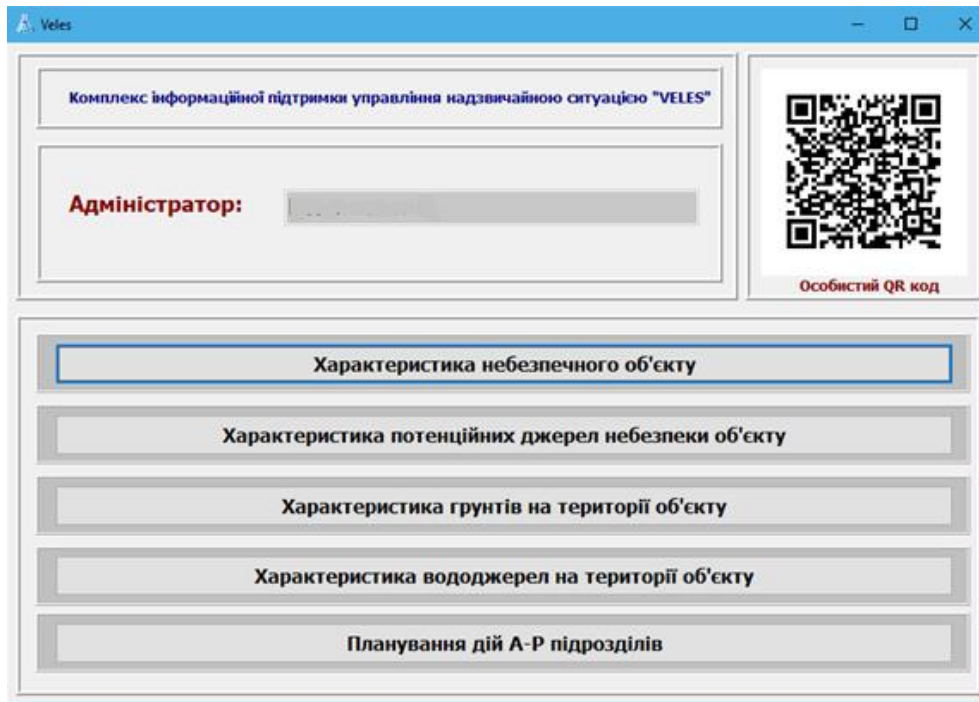


Малюнок 1. Інтерфейс блоку QR-ідентифікації користувачів.



Малюнок 2. Приклад проведення процедури QR-ідентифікації користувачів.

Структура інформаційної технології аналітичної підтримки QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на територіях як постраждали під час бойових дій містить 5 основних компонент, які представлені на малюнку 3.



Малюнок 3. Структура інформаційної технології аналітичної підтримки QR - управління надзвичайною ситуацією техногенного характеру на територіях як постраждали під час бойових дій.

- 1) Блок характеристик небезпеки об'єкту небезпечного виробництва.
- 2) Блок характеристик джерел потенційної небезпеки на територіях які постраждали під час бойових дій.
- 3) Блок аналізу ґрунтів на територіях які постраждали під час бойових дій.
- 4) Блок аналізу ґрунтових вод на територіях які постраждали під час бойових дій.
- 5) Блок планування дій аварійно-рятувальних підрозділів з попередження надзвичайної ситуації техногенного характеру на територіях які постраждали під час бойових дій.

Таким чином, можна відзначити, що стан довкілля в містах на сьогодні викликає занепокоєння в багатьох країнах. Водні об'єкти, розташовані в містах, є предметом ретельних досліджень, часто із застосуванням складних та дорогих підходів.

Отримано, що додаткових негативних впливів водні об'єкти в містах зазнають внаслідок надзвичайних ситуацій, одним з видів яких є бойові дії.

Аналіз впливу бойових дій на стан довкілля показав значні негативні прямі та опосередковані наслідки. Відмічається недостатність фактичних даних щодо дослідження вибухів боєприпасів на стан водних об'єктів, складність та дороговизна відомих підходів з оцінки їх впливу на довкілля.

Запропоновано використовувати підходи з попередження надзвичайних ситуацій в частині здійснення моніторингу стану поверхневих вод в місцях проживання населення, які постраждали внаслідок бойових дій, що дозволило розробити методологію QR - технології здійснення моніторингу стану водних об'єктів в місцях проживання населення, які постраждали внаслідок бойових дій. Вона базується на отриманні електропровідностей та коефіцієнтів ідентифікації досліджуваних водних об'єктів, де референтними значеннями виступають дані, отримані до початку бойових дій, з подальшим прийняттям необхідних управлінських рішень

Як переваги даної методології слід відмітити експресність, безпечність, та інформативність, можливість самостійного та інтегрованого застосування, в тому числі, й у автоматизованому режимі. Запропоновано її застосування в невеликих населених пунктах, що не мають значних економічних та технічних потужностей для інструментального тривалого моніторингу стану водних об'єктів в зазначених умовах.

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.7.4

7.4 Застосування інформаційних технологій для підвищення безпеки дорожнього руху

На дорогах світу через автомобільні аварії щороку гине близько мільйона осіб і ще близько 50 мільйонів людей одержують травми. Таку статистику в [336] дає Організація економічного співробітництва і розвитку (скор. ОЕСР, англ. Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD). Причому, такий рівень дорожнього травматизму дуже дорого обходиться економіці будь-якої країни, поглинаючи від 1 до 3% ВВП.

В Україні ситуація з аварійністю автотранспортних засобів теж важка. Ще у 2017 році тодішній прем'єр-міністр В. Гройсман оголосив: "За даними Світового банку, збитки економіки через ДТП на дорогах України складають 1,5-2,5% ВВП. Ми втрачаємо 4,5 млрд доларів від транспортних пригод в рік. Питання безпеки дорожнього руху в Україні ніколи раніше, на жаль, не вирішувалися системно" [337].

Дорожньо-транспортний травматизм є основною причиною смертності та інвалідності і особливо вражає людей молодого та працездатного віку. Лікування жертв дорожньо-транспортних пригод накладає великий тягар на службу охорони здоров'я та соціального захисту України.

Але найголовніше – це людські життя і горе безлічі сімей, що оцінити в гривнях або доларах неможливо.

.Стрімке збільшення кількості транспортних засобів і підвищення інтенсивності дорожнього руху призводить до зростання кількості ДТП та їх негативних наслідків і в нашій країні.

"На жаль, в Україні рівень смертності і травматизму в результаті ДТП є одним з найвищих в європейському регіоні. За останні шість років було зареєстровано близько 170 000 ДТП з потерпілими, в яких загинули 26 500 і травмовано 209 000 чоловік ", – зазначив А. Гаврилюк, заступник директора медичного департаменту, начальник Управління медичної допомоги дорослим МОЗ України [338].

"З початку цього року зареєстровані 54 500 ДТП. Це на 12,1% більше, в

порівнянні з минулим роком. Кожна восьма автопригода – з постраждалими: 723 людини загинули, понад 8000 травмовані. Удвічі збільшилася кількість ДТП за участю водіїв громадського транспорту ", – повідомив І. Прохоренко [338], заступник начальника Департаменту превентивної діяльності, начальник Управління безпеки дорожнього руху.

Все вищесказане дозволяє оцінити важливість і глобальність проблеми зниження аварійності на автомобільному транспорті.

Глобальність зазначеної вище проблеми обумовлює і глобальний рівень зусиль щодо її вирішення. Цим займаються і громадські організації, і національні уряди, і найбільші міжнародні структури.

У систему ОЕСР входить Міжнародний транспортний форум, який є глобальною платформою для розробників політики в транспортній сфері.

Україна входить до складу держав-членів цього органу. У 2004 році ОЕСР і Транспортний форум створили Центр транспортних досліджень, фахівці якого разом з фахівцями Світового банку, Всесвітньої організації охорони здоров'я і FIA (Міжнародної автомобільної федерації) в 2008 році за підсумками трирічної спільної роботи випустили доповідь "Прагнення до нуля: високі задачі і системний підхід до безпеки руху "[336].

Дана 300-сторінкова робота є квінтесенцією найцікавіших досліджень, аналізу, рекомендацій і прогнозів для транспортної політики, які варто вивчати окремо, особливо в транспортному вузі. Ми зупинимося на одному найважливішому аспекті цього дослідження.

Зібравши і вивчивши дані про рівні дорожньої безпеки, сучасні стратегії останньої, про витрати, пов'язані з дорожньою аварійністю і витрати на підвищення дорожньої безпеки, експерти зробили висновок [336], що рівень безпеки дорожнього руху можна підвищити в короткостроковій перспективі за рахунок впровадження арсеналу наступних заходів:

1. Примусове дотримання існуючих обмежень швидкості;
2. Скорочення водіння в нетверезому вигляді;
3. Використання ременів безпеки;

4. Більш безпечні дороги і узбіччя;
5. Підвищення безпеки транспортних засобів;
6. Зниження ризиків для водіїв-початківців.

У доповіді ці питання розглянуті дуже докладно, чого не дозволяє обсяг даної роботи.

Ключовою проблемою експерти Форуму вважають дотримання швидкісного режиму на автодорогах: "Швидкість є центральним фактором проблем з дорожньою безпекою. Вона впливає і на ризик попасти в ДТП, і на наслідки аварії".

Кореляція аварійності і швидкості транспортних засобів (рис. 1) досліджена в [336].

Судячи з цієї моделі, зниження середньої швидкості на 10% веде до зменшення числа ДТП зі смертельними наслідками майже на 40%, що підтверджується дослідженнями багатьох незалежних експертів, посилення на роботи яких наведені в [336].

Згідно з висновками доповіді ОЕСР з питань управління швидкісним режимом, ефективна програма управління швидкістю дорожнього руху повинна, серед іншого, включати удосконалення конструкції автомобілів, в тому числі застосування інформаційних технологій.

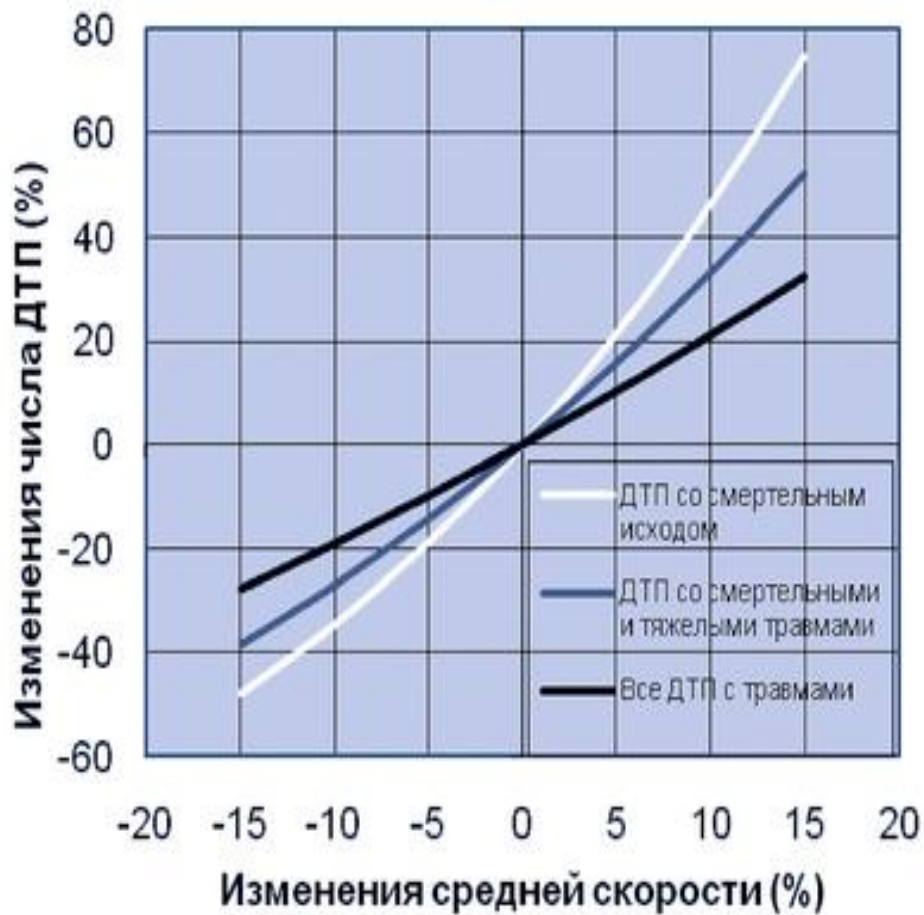


Рисунок 1. Кореляція аварійності і швидкості транспортних засобів

"З огляду на величезний позитивний потенціал нових технологій, всіляко рекомендується їх широке впровадження", такий цікавий для нас висновок роблять експерти [336]. У цій області вони радять наступне:

1. Всі нові автомобілі повинні бути обладнані обмежувачами швидкості з ручним регулюванням, а також, коли це стане можливим, добровільно встановленими інтелектуальними системи адаптації швидкості (ISA);

2. Для забезпечення отримання результатів від застосування технологій ISA державі необхідно з приватними партнерами створити цифрові бази даних про обмеження швидкості, які зможуть генерувати електронні карти, і поширювати їх для попередження водіїв про перевищення допустимої швидкості;

3, Необхідно зробити установку систем ISA обов'язковою за законом.

Система інтелектуальної адаптації швидкості ISA повинна бути

встановлена в транспортному засобі (ТЗ) для дотримання ТЗ встановленого ліміту швидкості за рахунок зчитування обмежень швидкості по маршруту.

Таким чином, експерти Міжнародного транспортного форуму вважають основним шляхом зниження аварійності та смертності на автодорогах зниження швидкості транспортних засобів, в тому числі і примусове.

Розвиваючи і реалізуючи рекомендації Доповіді [336] Європейська комісія з безпеки на транспорті (ETSC) планує з 2020 року зобов'язати автовиробників оснащувати всі автомобілі пристроєм, що автоматично примусово обмежує швидкість (ТЗ) відповідно до дорожніх знаків [339].

Цей пристрій використовує відеокамеру, яка розпізнає знаки обмеження швидкості, а також навігаційні дані, в яких прописаний швидкісний режим на різних дорогах. Про місце розташування автомобіля пристрій обмеження швидкості (ПОШ) дізнається за допомогою глобальної системи позиціонування (GPS). Пристрій буде зіставляти ці дані і не дозволить автомобілю рухатися швидше, ніж значення дозволеної швидкості.

Представляючи майбутні плани Єврокомісії перед Європарламентом у Страсбурзі, Комісар з питань транспорту Віолетта Бульк назвала інтелектуальну допомогу в дотриманні швидкості (Intelligent Speed Assistance – ISA) революційною технологією. Вона також сказала, що коли запропоновані заходи безпеки будуть введені в дію, то «ЄС стане лідером з безпеки на дорогах» [340].

Очевидно, що ЄС виконує рекомендації Міжнародного транспортного форуму щодо зниження аварійності на автодорогах за рахунок, в тому числі, введення примусового зниження швидкості автомобілів відповідно до наявних обмежень. Однак, до конкретної реалізації даного плану фахівці дорожньої і автомобільної промисловості ще не приступили (за деяким винятком). Крім того, наскільки нам відомо, автодороги нашої країни поки не планується оцифрувати з точки зору обмежень швидкості, а це є необхідною умовою введення в дію системи ISA.

Прямою реалізацією рекомендацій Доповіді [336] є Європейська угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ), до якого

приєдналася і Україна. У відповідності зі строгими технічними вимогами цих Правил [341] автотранспортний засіб, який здійснює транспортування небезпечних і вибухопожежонебезпечних вантажів, в обов'язковому порядку оснащується спеціальною системою – "Пристроєм Обмеження Швидкості". У правилах ЄЕК ООН №89 пункт 2.6 підпункт 1 говорить: "Пристрій Обмеження Швидкості мається на увазі механізм, який тим чи іншим способом зменшує (обмежує) кількість подаваного у двигун палива. Це призводить до обмеження швидкості руху транспортного засобу до заданої регламентованої величини."

Автомобілі, що перевозять небезпечні вантажі і на які поширюються ці вимоги щодо присутності пристрої обмеження швидкості автомобіля, – це вантажні автомобілі (транспортні засоби на жорсткій рамі, а також тягачі для напівпричепів) мають максимальну масу понад три з половиною тони.

Згідно з позицією 9.2.5 ДОПНВ пристрій ПОШ має бути налагоджений так, щоб швидкість автомобіля не перевищувала 90 км/год з урахуванням регламентних допусків на пристрій, в межах 5 км/год у бік збільшення або зменшення.

Слід врахувати ще один момент. Сучасні автомобілі (легкові і вантажівки) найчастіше оснащуються заводським пристроєм, вбудованим в систему управління роботою двигуна, яке обмежує максимально можливу швидкість. Але це не те, що вимагають правила з перевезення небезпечних вантажів. ПОШ це повинна бути окрема незалежна механіко-електрична система, яка механічним способом перекидає подачу палива до необхідної межі.

Принцип дії ПОШ заснований [337] на спрацьовуванні електромагнітного клапана на магістралі подачі палива, що обмежує подальший набір швидкості транспортним засобом. МБУ (мікропроцесорний блок управління) отримує відповідні сигнали від спідометра або, в залежності від автомобіля, від датчика швидкості на коробці передач. При досягненні гранично заданій швидкості МБУ передає сигнал на електромагнітний клапан управління подачею палива. При отриманні сигналу клапан закривається, подача палива тим самим обмежується. Клапан налаштований саме на той обсяг подачі пального, який необхідний для

досягнення заданої швидкості конкретним транспортним засобом.

Застосування пристрою обмеження швидкості на вантажному автотранспорті, що перевозить небезпечні вантажі також є прямою реалізацією рекомендацій, що містяться в Доповіді [336], але для досить вузької категорії автомобілів. Звичайно, можна такими пристроями обладнати всі автомобілі, в тому числі, і легкові. Без сумніву, це дало б значне зниження аварійності та смертності на автодорогах. Так що можна рекомендувати державі рухатися і в цьому напрямку. Але у ПОШ є серйозний недолік виставляти граничне значення швидкості в пристрої необхідно або самому власнику, або водієві автомобіля, або якійсь уповноваженій особі. А це завжди залишає можливість або для помилки, або для свідомого порушення. Крім цього, виникає складність при зміні значень допустимої швидкості, наприклад, при в'їзді автомобіля з автотраси в міську межу.

Виробники та дилери звичайного автомобільного транспорту навряд чи дадуть дозвіл на втручання в автомобіль без того, щоб припинила діяти гарантія, що робить практично неможливим використання такої технології в звичайних автомобілях.

У сучасних автомобілях вже досить тривалий час застосовують системи управління безперервним впорскуванням бензину або системи розподіленого типу, коли паливо подається через окрему для кожного циліндра форсунку (інжектор). З розвитком і мініатюризацією мікропроцесорної техніки стало можливим управляти процесом подачі палива на форсунки по досить складним алгоритмам відповідно до сигналів численних датчиків (витрати повітря, положення колінвала, температури відхідних газів та інших). Ці алгоритми враховують всі можливі вимоги і обмеження на роботу двигуна автомобіля в різних режимах і реалізуються блоками управління двигуном або бортовими комп'ютерами. На рис. 2 наведено варіант такої системи, розроблений фірмою "Bosch" [343].

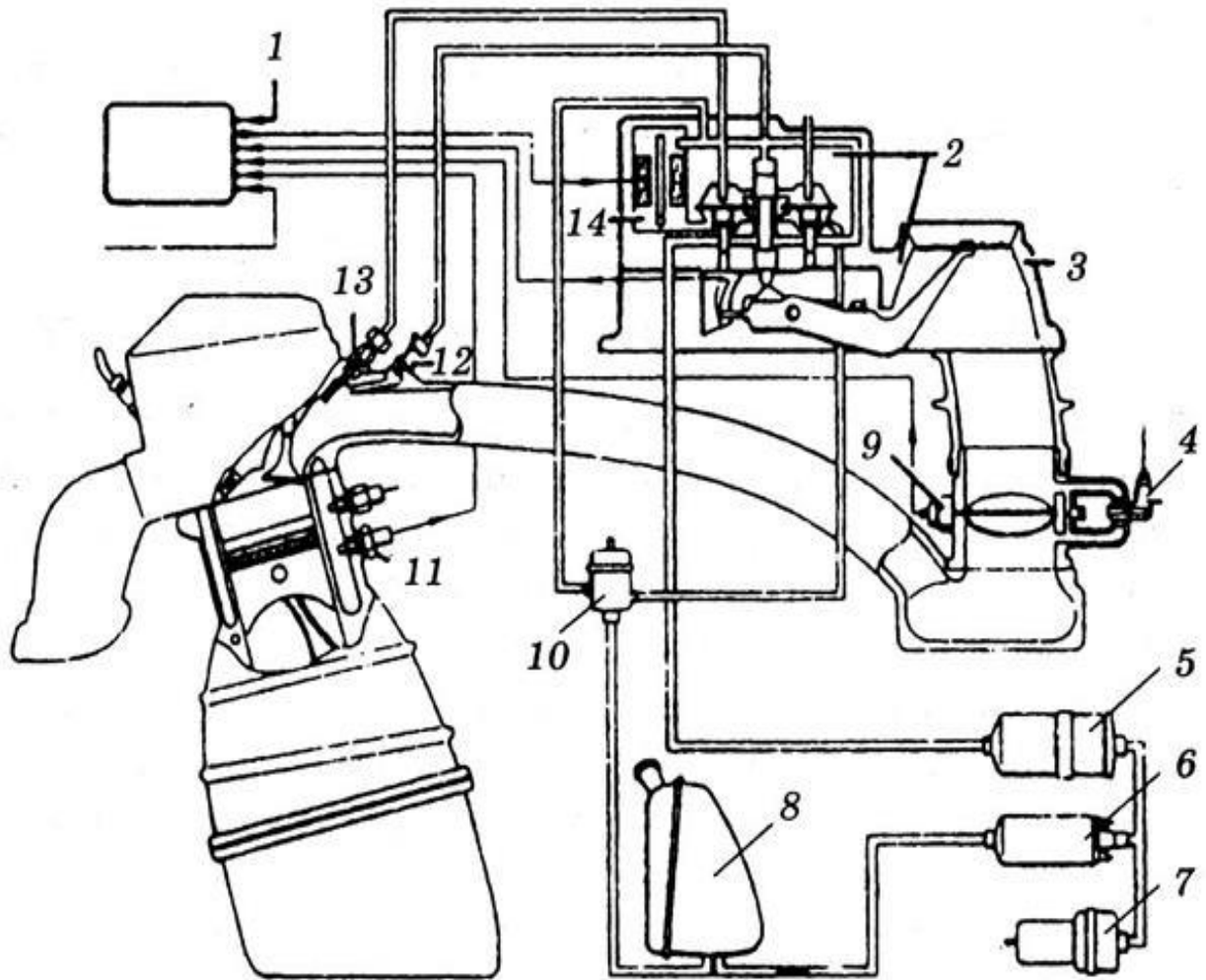


Рисунок 2. Функціональна схема системи управління подачею палива в двигун автомобіля фірми "Bosch": 1 - електронний блок управління; 2 - дозатор-розподільник палива; 3 - витратомір повітря; 4 - клапан додаткової подачі повітря; 5 - паливний фільтр; 6 - паливний насос; 7 - накопичувач палива; 8 - паливний бак; 9 - вимикач положення дросельної заслінки; 10 - регулятор тиску палива в системі; 11 - датчик температури охолоджуючої рідини; 12 - пускова форсунка; 13 - робоча форсунка 14 - електрогідравлічний регулятор керованого тиску

Система функціонує в такий спосіб: датчик витрати повітря вимірює миттєву витрату повітря і своїм важелем керує плунжером дозатора-розподільника палива, який, в свою чергу, направляє до форсунок таку кількість палива, яке відповідає вимірюваній витраті повітря. При постійному тиску у

верхній частині дозатора-розподільника тиск в нижній його частині регулюється електрогідравлічним регулятором тиску, який управляється контролером.

При постійному тиску у верхній частині дозатора-розподільника тиск в нижній його частині регулюється електрогідравлічним регулятором тиску 14, який управляється контролером 1.

До контролера також надходять сигнали від датчика температури охолоджуючої рідини 11, потенціометра і вимикача дросельної заслінки і від котушки запалювання про частоту обертання колінчастого валу.

За цими сигналами контролер ідентифікує роботу двигуна і змінює силу і напрямок струму, який проходить через обмотку електромагніту електрогідравлічного регулятора, і, переміщаючи золотник, змінює перетин прохідного отвору, який з'єднує верхню і нижню камери дозатора-розподільника палива. Якщо золотник повністю відкриє отвір, тиск у верхній і нижній камерах стане однаковим, мембрана притулиться до сідла розподільного клапана і подача палива припиниться.

Датчик температури охолоджуючої рідини надає контролеру інформацію про тепловий стан двигуна, по якій коригується кількість і якість горючої суміші під час пуску холодного двигуна, в ході його прогрівання, в режимі прискорення і т. п. При цьому подається додаткова порція повітря через регулятор 4 і додаткова кількість палива через пускову форсунку 12.

Дана система (як і інші подібні системи управління двигунами) дозволяє при роботі за певним алгоритмом або в разі необхідності зменшити або припинити подачу палива на форсунки і таким чином зменшити швидкість або повністю зупинити автомобіль. Але вона не розрахована на автоматичний вплив на величину швидкості автомобіля, а тим більше на постійне обмеження швидкості відповідно до правил дорожнього руху.

Таким чином, проведений аналіз показав, що в даний час не вирішена задача обмеження швидкості транспортного засобу з тим, щоб вона не перевищувала значення швидкості, допустимого на даній ділянці даної автодороги. А саме це, на думку експертів Транспортного форуму [336], багато в чому є запорукою

зниження аварійності на автодорогах. Хоча передумови для виконання такого завдання, як показав проведений аналіз, є. Це і системи управління роботою автомобільного двигуна з мікропроцесорної регулюванням подачі палива на форсунки двигуна, і стрімкий розвиток мікропроцесорних та інформаційних технологій, і інші досягнення науки і техніки.

Виходячи з проведеного аналізу, нами була сформульована мета дослідження, яка полягає в створенні способу і пристрою для дистанційного примусового обмеження швидкості автомобілів на дорогах в межах міста і поза нею відповідно до прийнятого в даному місці обмеженням швидкості.

Для того, щоб реалізувати запропонований спосіб дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля (ДПОШ), необхідно вирішити ряд завдань:

1. Розробити функціональну схему пристрою для ДПОШ;
2. Розробити принципову схему пристрою;
3. Зібрати і випробувати натурний зразок пристрою в лабораторних умовах для експериментального підтвердження справедливості запропонованого способу ДПОШ;
4. Випробувати пристрій на автомобілі на еталонному сигналі;
5. Вирішити питання про можливість використання для передачі обмежує сигналу на несучих частотах мобільних операторів;
6. Дослідити можливість застосування існуючого або створення спеціального GSM-передавача для передачі обмежувального сигналу;
7. У разі використання спеціального GSM-передавача або передавача іншого типу розробити схему покриття цими передавачами всіх автодоріг України.

Кожне з цих завдань само по собі є окремою серйозною дослідницькою роботою. Поставлені завдання автор бачить досить широкими, особливо, в частині реалізації в реальних транспортних системах (на вулицях і автодорогах оточуючих нас місцевостей). Це і частота випромінюючих контрольний сигнал передавачів, і алгоритми управління подачею палива в двигун, неушкодження автомобіля і безпека водія, пасажирів і вантажу транспортного засобу, і передача обмежувального сигналу, і багато іншого.

Тому метою цієї роботи є формулювання концепції з підвищення безпеки на автошляхах України в частині приведення швидкостей транспортних засобів до гранично допустимих для даних автодоріг значень (концепція викладена і обгрунтована вище), а також розробка функціональної схеми пристрою ДПОШ.

Спосіб підвищення безпеки дорожнього руху за допомогою дистанційного примусового обмеження швидкості автомобілів на дорогах в межах міста і поза ними відповідно до прийнятого в даному місці обмеження швидкості полягає в постійній передачі по мережах мобільного або будь-якого іншого зв'язку сигналу, що несе інформацію про обмеження швидкості в конкретному місці на конкретній автодорозі. Цей сигнал після прийому обробляється в мікропроцесорній системі управління подачею палива в двигун автомобіля за певним алгоритмом з метою підтримки швидкості руху автомобіля, що не перевищує значення обмеження.

Причому водій транспортного засобу не міг би навіть при бажанні обійти таке обмеження. Наприклад, в межах міста 50 км / год, а на автотрасах 90 км / год.

Формальні і технічні передумови для реалізації запропонованого способу підвищення безпеки на автошляхах України наступні:

1. Величезний моральний і матеріальний збиток від аварійності на автошляхах і прагнення до його мінімізації у влади, експертного співтовариства і громадянського суспільства;
2. Розвиток мікропроцесорної техніки і мехатроніки на транспорті;
3. Тотальне покриття мережею GSM-телефонії автодоріг України;
4. Розвиток мобільної телефонії, в тому числі 4G і 5G технологій.

Функціональні схеми пристрою ДПОШ розроблені для основних типів систем управління двигуном в сучасних автомобілях (з мікропроцесорним управлінням), що відрізняються деякими деталями. Це відмінності в способі регулювання подачі палива на магнітоелектричні форсунки, в типах пристроїв, що управляють, що розрізняються по швидкодії і обсягом оперативної і постійної пам'яті, що тягне різний підхід до алгоритмізації процесів керування автомобілем, і т. п.

На рис. 3 приведена узагальнена функціональна схема пристрою ДПОШ, що

є, на нашу думку, універсальною для всіх типів сучасних автомобілів.

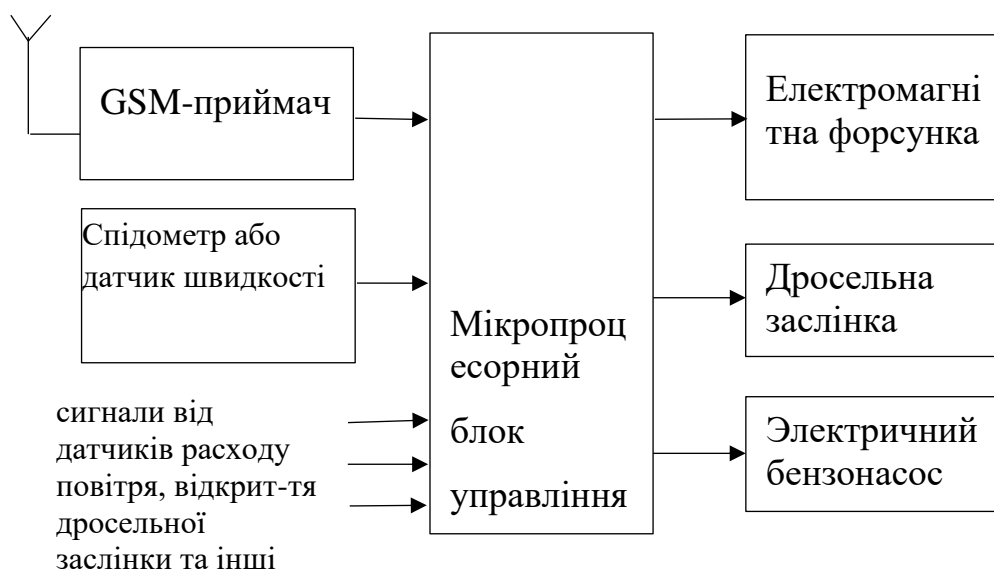


Рисунок 3. Функціональна схема пристрою для дистанційного примусового обмежування швидкості автомобіля

Спосіб дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля працює наступним чином [344]. GSM-приймач (можливо, інший радіоприймальний пристрій) постійно отримує сигнал, який несе значення швидкості, допустиме на даній автодорозі. В мікропроцесорному блоці управління (МБУ), це значення порівнюється з сигналом від цифрового спідометра або датчика швидкості, що є поточним значенням швидкості автомобіля. Неузгодженість цих двох сигналів або перевищення швидкості автомобіля над допустимим значенням швидкості на даній дорозі служить підставою для перерахунку (зниження) по запрограмованому алгоритму блоком МБУ кількості палива, необхідного для подачі на форсунку, а також для зменшення тривалості відкриття форсунок. Зниження подачі палива в циліндри двигуна призводить до зниження швидкості автомобіля до прийнятних значень.

Описаний процес примусового обмеження швидкості автомобіля є досить складним, адже необхідно не просто знизити швидкість транспортного засобу, але зробити це без шкоди для безпеки руху, для економічності їздового циклу та

інших показників. Буде потрібен облік мікропроцесорним блоком управління всієї інформації, що надходить від різних датчиків і формування з урахуванням цієї інформації керуючого впливу на електромагнітні форсунки. А це, в свою чергу, спричинить деякі зміни алгоритмів і програм, закладених в МБУ.

Таким чином, запропоновано та розроблено спосіб зниження аварійності на автодорогах в частині, що залежить від швидкісного режиму руху транспортних засобів. Спосіб та пристрій, що його реалізує, дистанційно та примусово обмежують швидкість транспортних засобів в залежності від значення допустимої швидкості на даній ділянці шляху.

При створенні способу дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля проведено аналіз існуючих засобів та пристроїв для примусового обмеження швидкості, який показав відсутність на даний момент дистанційних рішень цієї проблеми.

Дистанційність здійснюється за рахунок прийому на кожному автомобілі сигналу, що несе значення допустимої швидкості руху на даній ділянці. Такий сигнал передається або станціями мобільних операторів. Штатні мікропроцесорні блоки управління на кожному автомобілі порівнюють величину обмежувального сигналу з поточним значенням швидкості, і, якщо остання перевищує граничне значення, знижують подачу палива в циліндри двигуна.

Нами розроблені функціональні схеми пристроїв для реалізації запропонованого способу на основних типах систем управління двигуном в сучасних автомобілях. Як приклад наведена узагальнена універсальна функціональна схема пристрою для дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля.

Продовженням цього дослідження повинно стати виготовлення експериментального пристрою ДПОШ і його натурні випробування з імітацією обмежувального сигналу від базових станцій мобільного зв'язку. В подальшому потрібно буде провести випробування функціонування пристрою при взаємодії з сигналом, що буде випромінюватися справжніми станціями. Для цього потрібна буде взаємодія з керівництвом оператора мобільного зв'язку щодо

виділення невеликого ресурсу мережі для проведення випробувань пристрою. В подальшому виділення частоти для передавання обмежувального сигналу потрібно буде вирішувати на обласному чи державному рівні, тому що це дозволить запропонувати нашому суспільству і державі спосіб радикального підвищення безпеки дорожнього руху (звичайно, разом з іншими заходами в цьому напрямку), що дозволить уникнути величезних людських жертв і матеріальних збитків .

SECTION 8. INNOVATIVE TECHNOLOGIES

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.8.1

8.1 Synthese eines digitalen echtzeit-steuerungssystems für pneumatische antriebe

Das Konzept des digitalen Duplikats wurde in 2002 von Michael Greaves, Professor an der University of Michigan, vorgeschlagen. In seiner Arbeit [345, S.2] hieß es ursprünglich "Modell der Spiegelräume". Es gibt auch eine Definition eines digitalen Klon von den Autoren [345, S.3]. Die Autoren beschreiben den digitalen Klon als eine Menge virtueller Informationsstrukturen, die das eigentliche Industrieprodukt vollständig duplizieren, mit der Möglichkeit der Modellierung von atomaren Funktionen bis hin zur Geometrie. Unter idealen Bedingungen können alle Informationen, die dem Produkt entnommen werden können, von seinem digitalen Pendant bezogen werden. Das digitale Duplikat "beinhaltet drei Hauptteile: das physische Produkt im realen Raum; virtuelles Produkt im Cyberspace; Daten und Informationen, die virtuelles und physisches Produkt kombinieren. [347, S.4]. Heute ist die Methode der Entwicklung eines digitalen Duplikats [348, S.5] weit verbreitet als Computerprototyp für jedes reale Objekt. So kann ein solches Objekt beispielsweise der gesamte Industriebetrieb mit seinen Produktionslinien, eine spezifische Kopie des Produkts oder ein separater technologischer Prozess sein [349, S.7]. Je genauer das digitale Duplikat in der Computerumgebung beschrieben wird, desto mehr entspricht es seinem realen Vorbild. Aufgrund der Besonderheiten der menschlichen Wahrnehmung, näher an der Realisierung, ist es die Synthese digitaler Duplikate. Während der Synthese können Sie eine visuelle Darstellung des Prototypobjekts erhalten und dann zu den physikalischen Eigenschaften übergehen. Beispielsweise die Reaktion auf äußere Einflüsse, Betriebsbedingungen, natürliche Alterungsprozesse etc. Gemäß dem Algorithmus zum Aufbau eines digitalen Überwachungssystems [350, p.6], um die experimentellen Eigenschaften im Duplikat zu kombinieren, ist es ratsam zu verwenden:

- Lösungen für die Erstellung eines grafischen digitalen 3D-Modells des Objekts, entwickelt unter Verwendung von CAD-Systemen für technisches Design;

- Lösungen zur Sicherstellung echter Daten aus dem Prototyp auf Basis der Internet of Things (IoT)-Technologie;
- integrierte mathematische Modelle – Werkzeuge, die das „Verhalten“ des digitalen Duplikats in Übereinstimmung mit dem Verhalten seines Prototyps liefern (dazu gehören CAE-Systeme für technische Berechnungen);
- verschiedene Visualisierungstechnologien.

Das digitale Pendant ist demnach eine Symbiose von Technologien, die wir als reales prototypisches Objekt wahrnehmen, also ein System digitaler Überwachung in Echtzeit [351, S.7]. Neben der technischen Modernisierung der Elemente mit Hilfe des digitalen Duplikats rückt die Entwicklung grundlegend neuer Steuerungssysteme mit drahtloser Rückmeldung in den Vordergrund. Diese Forschungsrichtung ist für die Synthese des Systems der digitalen Überwachung des pneumatischen Aktuators in Echtzeit zweckdienlich.

Daher besteht die dringende Aufgabe der Forschung darin, ein System zur kontinuierlichen Überwachung der wichtigsten Leistungsmerkmale einer Industrieanlage zu entwickeln, nämlich eines pneumatischen Stellantriebs. Die erwarteten Ergebnisse werden es nicht nur ermöglichen, das Verhalten des Objekts in Echtzeit zu steuern, sondern auch Wege zur Verbesserung seiner technologischen Effizienz zu finden. Während der Forschung wurden Methoden der mathematischen Physik, Thermodynamik, numerische Methoden der linearen, nichtlinearen Programmierung, Lösungen von Differentialgleichungen, Methoden der theoretischen Mechanik, Methoden der Verarbeitung der Ergebnisse experimenteller Daten, Methoden der mathematischen Modellierung verwendet. Die Forschungsmaterialien wählten einen Nachladebereich für die Verarbeitung von künstlichen Produkten aus, der aus pneumatischen Stellantrieben mit 4 Positionen besteht. Zum Bau des Modells diente die 3D CAD Models Community – PARTcommunity – eine Plattform für industrielles „Internet of Things“, die von führenden Ingenieurbüros unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Produktion und Prozessen entwickelt wurde.

Der digitale Klon wird von uns als Vermittler verwendet. Um das System der digitalen Überwachung des pneumatischen Aktuators in Echtzeit zu synthetisieren,

kombinieren wir im System: Pneumatikzylinder; eine Plattform, die vollständiges Feedback für das Laufwerk liefert; Wi-Fi-Fernbedienungseinheit basierend auf Datenübertragung von der physischen in die virtuelle Welt. Die Entwicklung des digitalen Duplikats basierte auf der Methode der Symbiose von Technologien [352, S.7], die als Prototyp ein reales Objekt bildet. In Abb. 1. Es wird der Synthesalgorithmus des Systems zur digitalen Überwachung des pneumatischen Aktuators in Echtzeit vorgestellt.

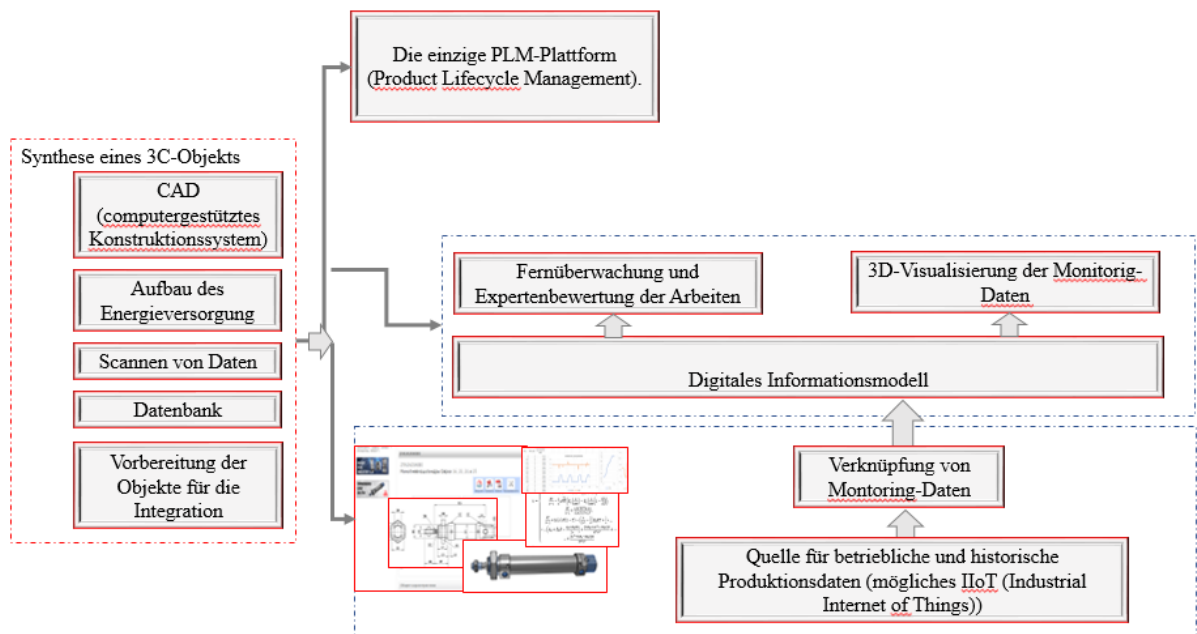


Abbildung 1: Flussdiagramm zur Synthese des digitalen Zwillings

Ganz am Anfang der Lösung des Problems der Digitalisierung des PTM-Antriebs muss ermittelt werden, welche Variante der Synthese des digitalen Modells für die Aufgabe optimal ist.

Die erste Option ist ein vollständiges digitales Duplikat. Das heißt, ein Software-Analogon eines physischen Geräts, das die technischen Eigenschaften und das Verhalten eines realen Objekts simuliert, die Interferenz- und Umgebungsbedingungen berücksichtigt und interne Prozesse steuert. Ein wichtiges Merkmal ist, dass Sie mit dieser Option Informationen von den Sensoren des realen Geräts verwenden können. Die Steuerung funktioniert sowohl online als auch offline. Außerdem kann das System Informationen von virtuellen digitalen Klonsensoren mit Sensoren des realen Geräts vergleichen und Anomalien und deren Ursachen erkennen.

Die zweite Option, digitaler Schatten, ermöglicht es Ihnen, ein praktisches und nützliches Werkzeug zu erhalten, es in der Arbeit zu testen und es unter Berücksichtigung der festgestellten Mängel zu verfeinern. Das heißt, es handelt sich um eine digitale Darstellung eines physischen Objekts, die eine Automatisierung des unidirektionalen Datenflusses von einem vorhandenen physischen Objekt zu einem digitalen bereitstellt. Wenn sich der Zustand eines physischen Objekts ändert, ändert sich auch der Zustand des digitalen Objekts.

Bei der Entscheidung sollten Sie auf digitale Schatten achten - dies ist eine vereinfachte, an die heutigen Bedürfnisse angepasste Version des Duplikats, nämlich: begrenzt in Werkzeugen für die Modellierung im Cyberspace und konzentriert auf die korrekte Übersetzung von Daten vom physischen Prototyp in seinen virtuellen Prototyp [353, S.3]. Der digitale Klon des Versuchsmodells, nämlich der Nachladebereich zur Verarbeitung künstlicher Produkte aus pneumatischen Aktuatoren mit 4 Positionen, löst die folgenden Probleme:

- Visualisierung, einschließlich des Betriebsvorgangs der Arbeitsglieder (Stangen);
- die Möglichkeit Hardware online anzuzeigen (bereitgestellt über das TIA Portal, das neben der Basissoftware STEP 7, WinCC, SINAMICS StartDrive, SIMOCODE ES und SIMOTION SCOUT TIA auch neue Features wie Multiuser Engineering und Energieverbrauchskontrolle in einer Oberfläche integriert);
- Bildung von Mitteln zum Erhalten genauerer Parameter für den Aufbau einer detaillierten und gründlichen Analyse der Arbeit des Antriebs - tabellarische Berichte, Zeitpläne, Diagnosen usw.

Der Prozess zur Erstellung eines solchen digitalen Duplikats sollte so einfach wie möglich sein und Ressourcenkosten eliminieren. In der Industrie sieht man heute ein breites Spektrum an Lösungen [354, S.3]. Unserer Meinung nach stechen dabei zwei dialektische Gegensätze hervor: „Schwere Klasse“ - Lösungen, wie zB Siemens und PTC, gegenüber Lösungen der unteren Klasse - Kostensegment für Excel-Überwachung . Es sollte beachtet werden, dass es nur sehr wenige vollwertige Tools gibt, einschließlich inländischer, die alle oben genannten Kriterien für die Erstellung

digitalen Klon erfüllen würden. Die Entwicklungsstadien des digitalen Duplikats (Modell) für das untersuchte Umladegebiet sind in Abb. 2 dargestellt.

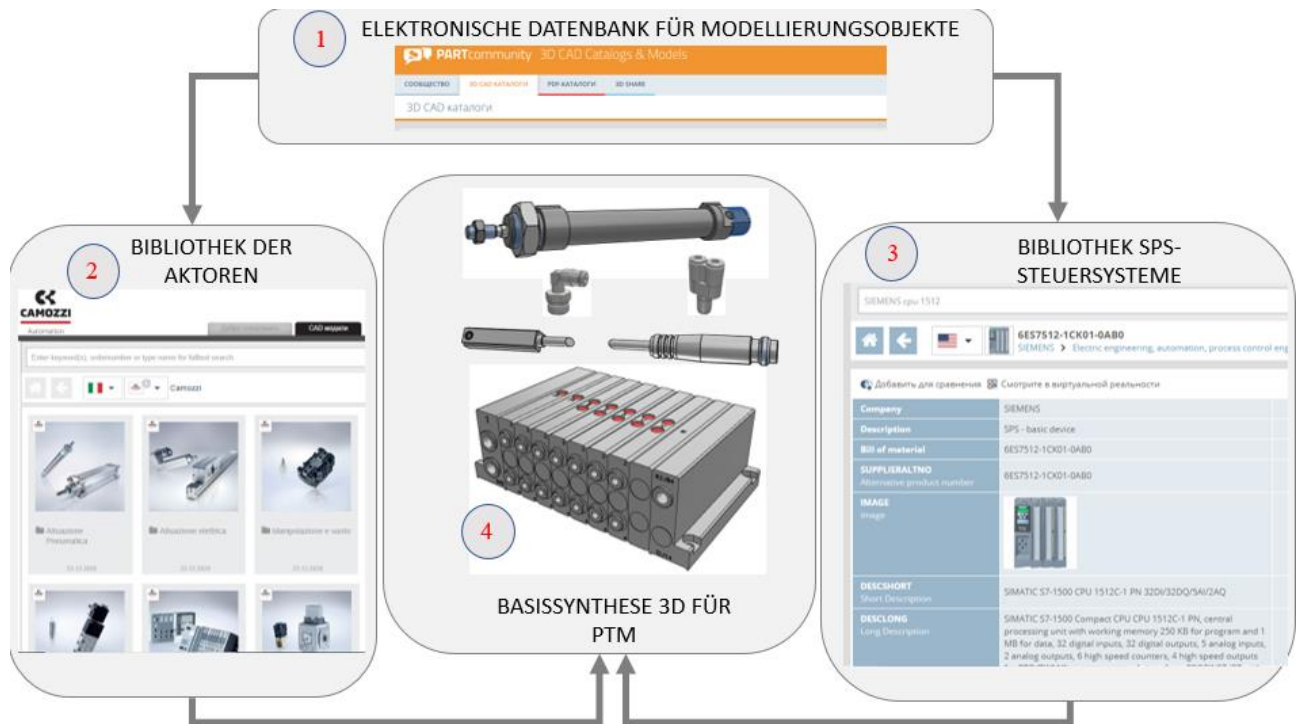


Abbildung 2: Schritte bei der Entwicklung des digitalen Zwillings

Die Forschungsaufgabe basiert auf der Entwicklung der optimalen Funktionalität am Beispiel der PTM-Nachladestrecke, die aus 4 pneumatischen Aktoren besteht (Bild 3). Zum Bau des Modells diente die 3D CAD Models Community – PARTcommunity – eine Plattform für industrielles „Internet of Things“, entwickelt von führenden Engineering-Unternehmen, unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Produktion und Prozessen.

Das digitale Duplikat wurde als Vermittler synthetisiert zwischen: dem physischen Produkt (mit wichtigen Informationen darüber) und der Plattform (die vollständiges Feedback für das Laufwerk liefert). Das Laufwerk kann während des Betriebs über Wi-Fi ferngesteuert werden, basierend auf der Datenübertragung von der physischen in die virtuelle Welt.

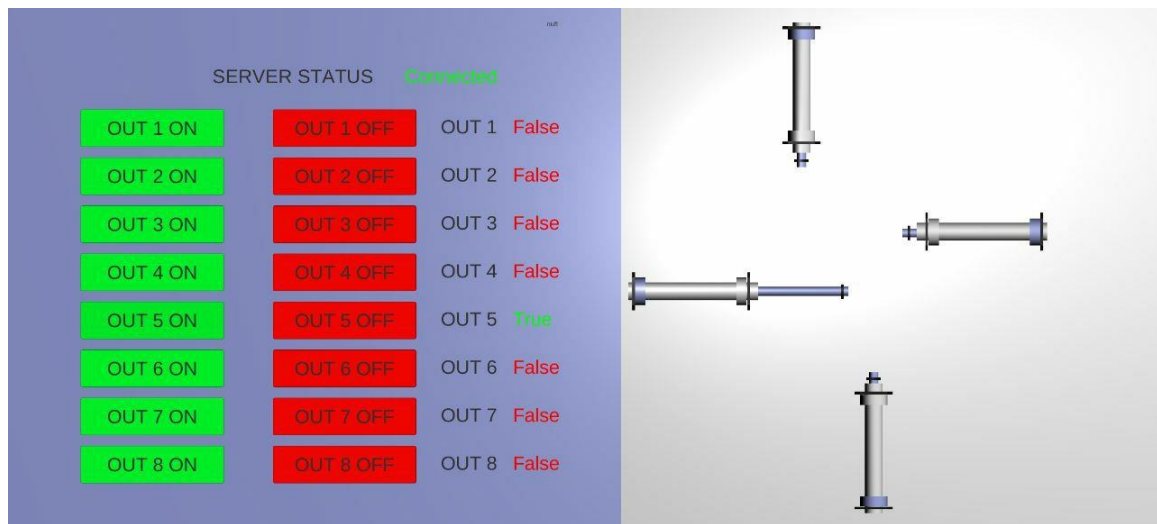


Abbildung 3: Ergebnisse der Synthese eines digitalen Zwillings in Form eines interaktiven Kontrollmodells

Das Simulationsmodell wurde von Unity entwickelt. Die Visualisierung erfolgt in Unity in C#, eine teilweise Auflistung des Programms ist in Abb. 4 dargestellt. Das synthetisierte System zur digitalen Überwachung des pneumatischen Aktuators hat die Software- und Hardwarearchitektur des digitalen Doppels. Das System besteht aus mehreren Ebenen. Die erste ist die Ebene des physischen Objekts (dh des physischen Duplikats), auf der die spezifizierten Eigenschaften mit einer Reihe von Sensoren registriert werden. Auf dieser Ebene findet eine Interaktion mit dem physischen Gegenüber durch Antriebe statt. Die zweite Ebene - lokale Controller, die die technologische Funktionalität des digitalen Klons bereitstellen. Die dritte Ebene ist die lokale Datenbank. Vierte Ebene – bietet das Zusammenspiel von lokalem und Cloud-Speicher für Daten. Ebene 5 ist der Cloud-Speicher. Das sechste ist das Modell der Emulation (Modellierung des aktuellen Verhaltens) und der Simulation (Modellierung des möglichen Verhaltens) für einen physikalischen Klon.

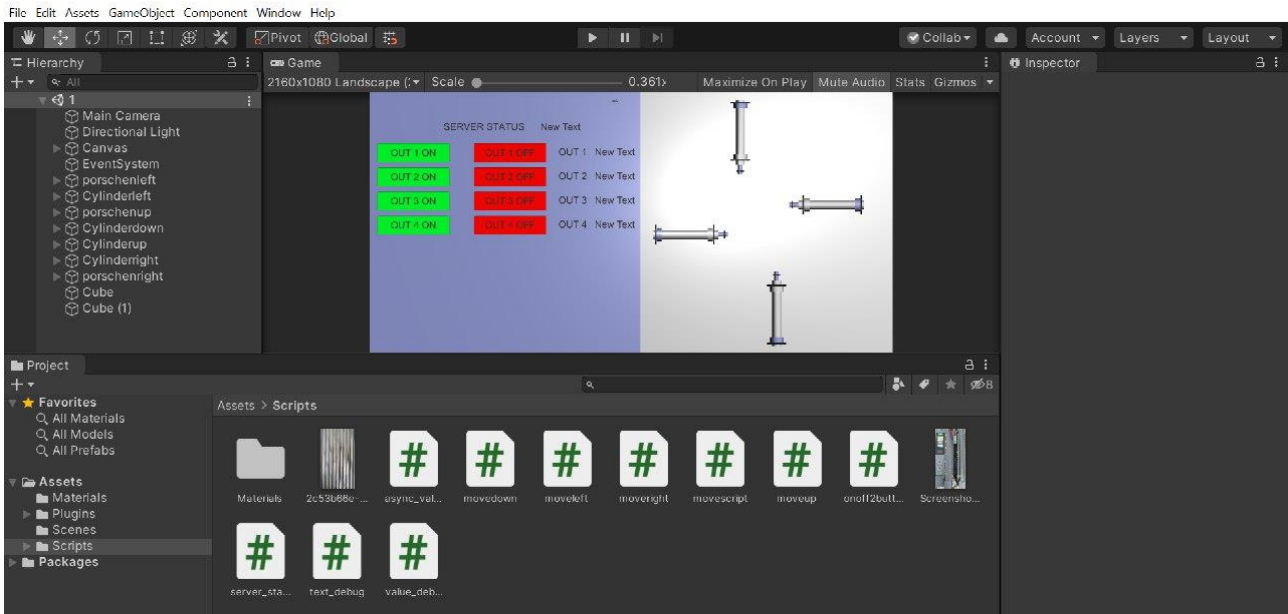


Abbildung 4: Gesamtansicht des Projekts für den Umladebereich im Unity-Arbeitsbereich

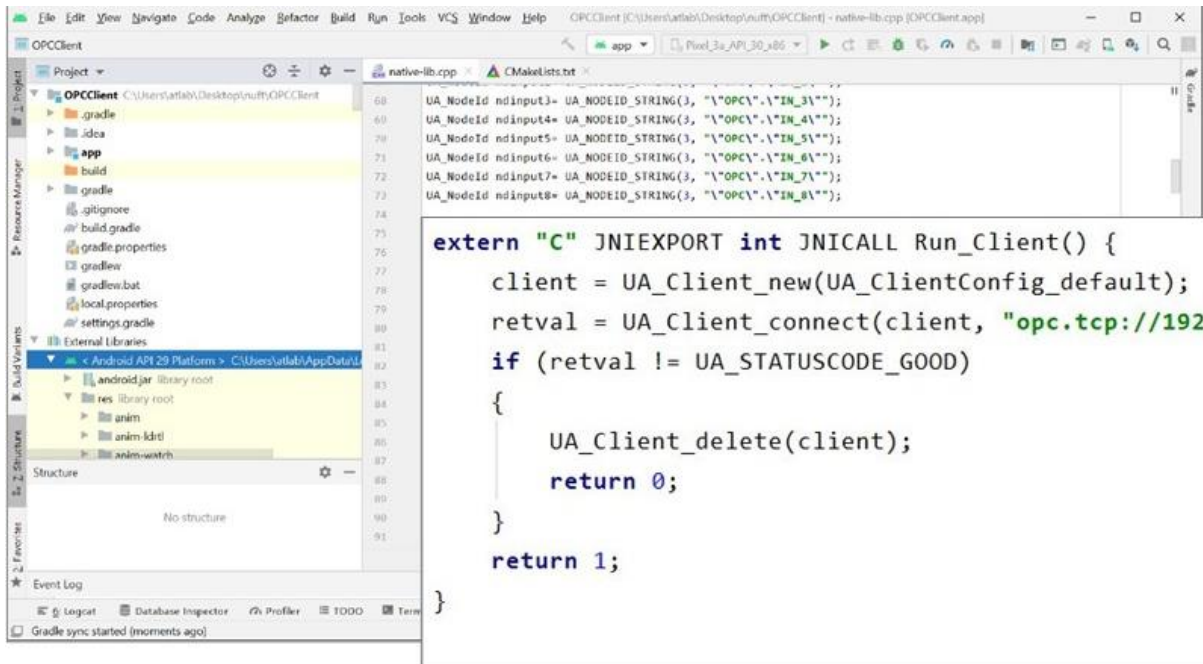
Der Server mit Daten zu den Aus- und Eingängen der Siemens-Steuerung erfolgt im TIA Portal. C++ - Client zum Lesen und Schreiben dieser Daten für Android-Geräte, die in Android Studio entwickelt wurden, Abb. 5.

Das Erstellen von visuellen Simulationsmodellen des digitalen Klons ist mit Hilfe einer spezialisierten Software von Simio [355, S.118] möglich. Zur Erstellung eines solchen visuellen Modells wird eine Standard-Objektbibliothek verwendet. Der Prozess der digitalen Duplikatsimulation aktiviert einen Editor, mit dem Sie Operationen zuweisen, Simulationen durchführen, Simulationsausführungszeiten aufzeichnen, sich mit anderen virtuellen Objekten vernetzen und vieles mehr. Etwa 50 Arten von Daten werden verwendet, um die Eigenschaften eines physischen Duplikats mit einem Programm zu beschreiben. Beispielsweise Datentypen zur Beschreibung von Elementen (Zustand, Material etc.), Objektbeschreibungsdatentypen (Ressource, Layout, Knoten usw.). Die Industrie ist jedoch eine Quelle anspruchsvoller Software.

Das Verhalten für digitalen Klon in DTDL hat fünf Metamodellklassen: Eigenschaft, Befehl, Beziehung, Komponente und Telemetrie. Ja, die Telemetry-Klasse generiert Daten, die von Sensoren generiert werden. Eigenschaft beschreibt den Zustand des digitalen Klons, Synchronisation mit anderen Komponenten für das verteilte System. Command entwickelt eine Funktion oder Operation, die von einem

digitalen Klon ausgeführt wird. Beziehung bildet die Verbindung eines digitalen Klons mit anderen digitalen Klonen (zwischen Schnittstellen). Komponente beschreibt einen Teil der Schnittstelle.

Die Microsoft Azure Digital Twins-Plattform bietet die fortschrittlichsten Möglichkeiten zum Erstellen digitaler Klone. Die DTDL-Sprache wird verwendet, um digitale Duplikatmodelle zu beschreiben, die auf der Verwendung des JSON-Formats basiert, nämlich des JSON-LD-Formats. [355, S.14].



Produktion zu sehen. Das Arbeiten mit einem digitalen Klon erfordert kein Anhalten der Anlage: Sie können jederzeit und an jedem Ort „in die Produktion schauen“. Dabei kann der digitale Klon nicht nur ein 3D-Objekt mit technischen Eigenschaften kombinieren, sondern auch Informationen über Umgebung und Betriebsbedingungen, die Interaktion mit anderen Objekten sowie Daten aus Predictive Analytics. Die aus den Geräten gewonnenen Informationen können beispielsweise zur Beurteilung von Engpässen, technischem Zustand, Betriebsablauf usw. verwendet werden.

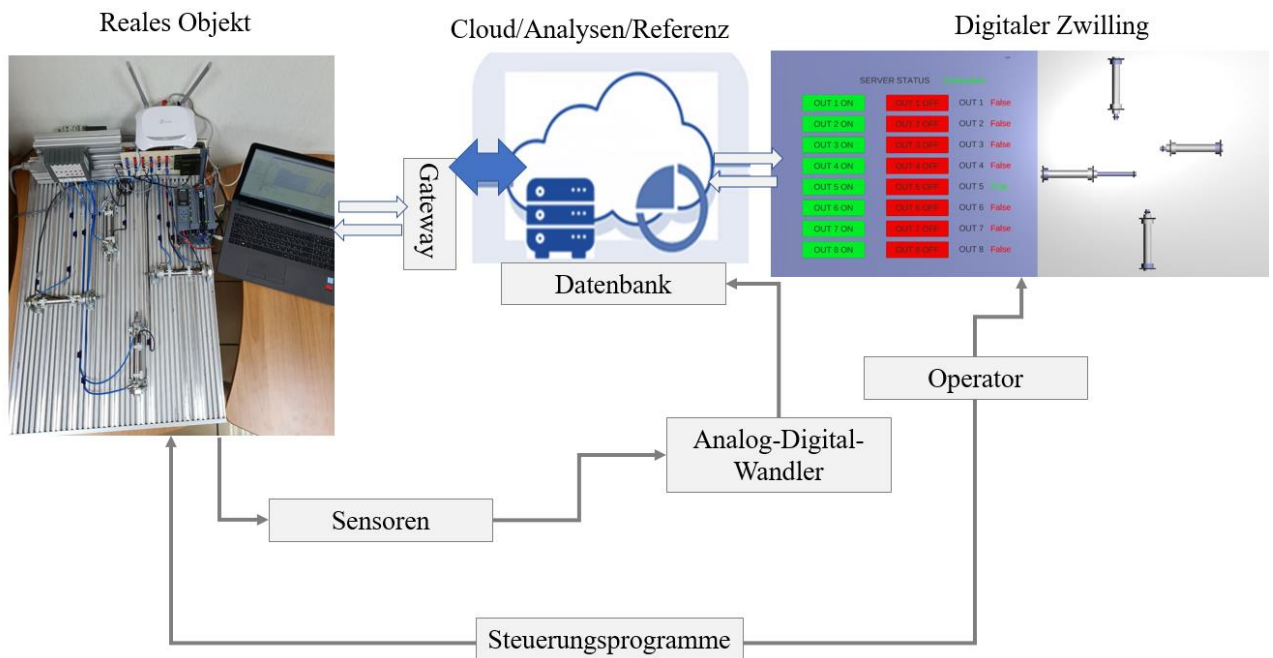


Abbildung 6: Allgemeine Ansicht der Struktur der Informationsverarbeitung von einem realen Objekt zu einem digitalen Zwilling

Um das Verhalten der beiden Einzelantriebe im Umladebereich sowie des gesamten technischen Systems zu untersuchen und zu testen, wurden am Versuchsstand des Autors, Abb.7, eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt.

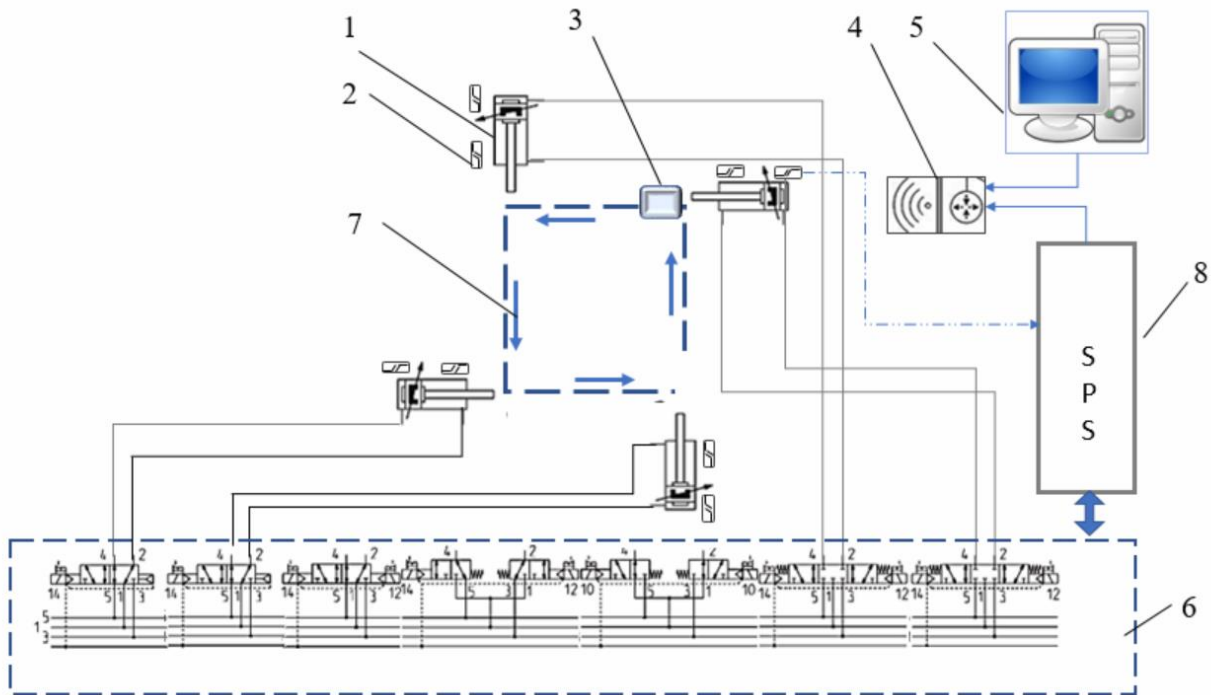


Abbildung 7. Allgemeine schematische Darstellung des Prüfstandes des digitalen pneumatischen Antriebsüberwachungssystems in Echtzeit: 1 - pneumatischer Zylinder mit beidseitiger Wirkung; 2 - Reed-Sensor zur Lokalisierung; 3 - Paket (Behandlungsobjekt); 4 - Router; 5 - Computer; 6 - pneumatischer Punkt; 7 - Fahrweg des Behandlungsobjekts; 8 - PLC (Software-Logik-Controller)

Als Steuereinrichtung wurde eine pneumatische Insel mit verschiedenen Verteilerstrukturen gewählt, um die Möglichkeiten der Umgestaltung des Systems der Versorgung der Arbeitsumgebung zu den Aktuatoren zu erweitern und die Betriebsreihenfolge des Umladebereichs zu ändern.

Nach dem obigen Schema wurde ein Versuchsstand montiert (dessen Gesamtansicht in Abb. 6 dargestellt ist) und Feldversuche des Umladebereichs auf der Grundlage pneumatischer Aktuatoren durchgeführt.

Frequenzmethoden zur Analyse dynamischer Eigenschaften werden bei Feldtests eines Systems, das komplexe Objekte enthält, nicht verwendet. In der Praxis weit verbreitete Untersuchungsmethoden und Berechnungen des Systems im Zeitbereich. Damit werden die Transienten ermittelt, die durch Sprung-, Impuls- oder Oberwelleneinflüsse in den Systemen verursacht werden.

Die ersten Arten von Signalen werden unter realen Bedingungen verwendet, um die Angemessenheit der berechneten und als Ergebnis physikalischer Experimente erhaltenen Transienten zu überprüfen. Darüber hinaus geben die Prozesse des schrittweisen Aufpralls auf das System eine klare Vorstellung von solchen dynamischen Eigenschaften des Systems wie Geschwindigkeit, Bremsen im System und der Dauer des Prozesses.

Eine Alternative zur mathematischen Beschreibung der digitalen Überwachung kann eine schematische Definition des in Abb. 8 gezeigten Mehrfachbildes sein. Jeder Block des Schemas zeigt den Namen der Sequenz (Tupel) von Parametern, die Modalität der Daten (zu welcher Menge sie gehören) und die Länge des Datentupels.

Beziehungen zwischen Knoten zeigen die semantische Unterordnung von Komponenten untereinander. Jede Komponente ist durch ein bestimmtes Multiimage definiert, dh im allgemeinen Fall unterscheiden sich die Multiimages der Komponenten voneinander sowohl in der Zusammensetzung als auch in der Art und Anzahl der Elemente.

In Abb. 9 - 12 die Abhängigkeiten der kinematischen Eigenschaften pneumatischer Aktuatoren im simulierten Forschungsobjekt unter Berücksichtigung unterschiedlicher Betriebsbedingungen: Druckänderung im Leistungsteil im Bereich von 2..6 bar, Änderung der axialen Belastung der Stange (1... ,2 kg), Stangendrehzahl im Betrieb und im Leerlauf ändern (über Drosseln mit Rückschlagventil MCU).

Die Ergebnisse der Studie verändern die Beschleunigung bei der ersten Fahrt des Versuchsstandes, bei eingestelltem Betriebsdruck am Eingang des Kraftspeichers 6 bar, Arbeitsbelastung 1 kg, Einhaltung der Wiederholung von Dauerbetrieb und Leerlauf, mit Bedienereingriff durch Steuerung und Router von Android Studio, Abb.9.

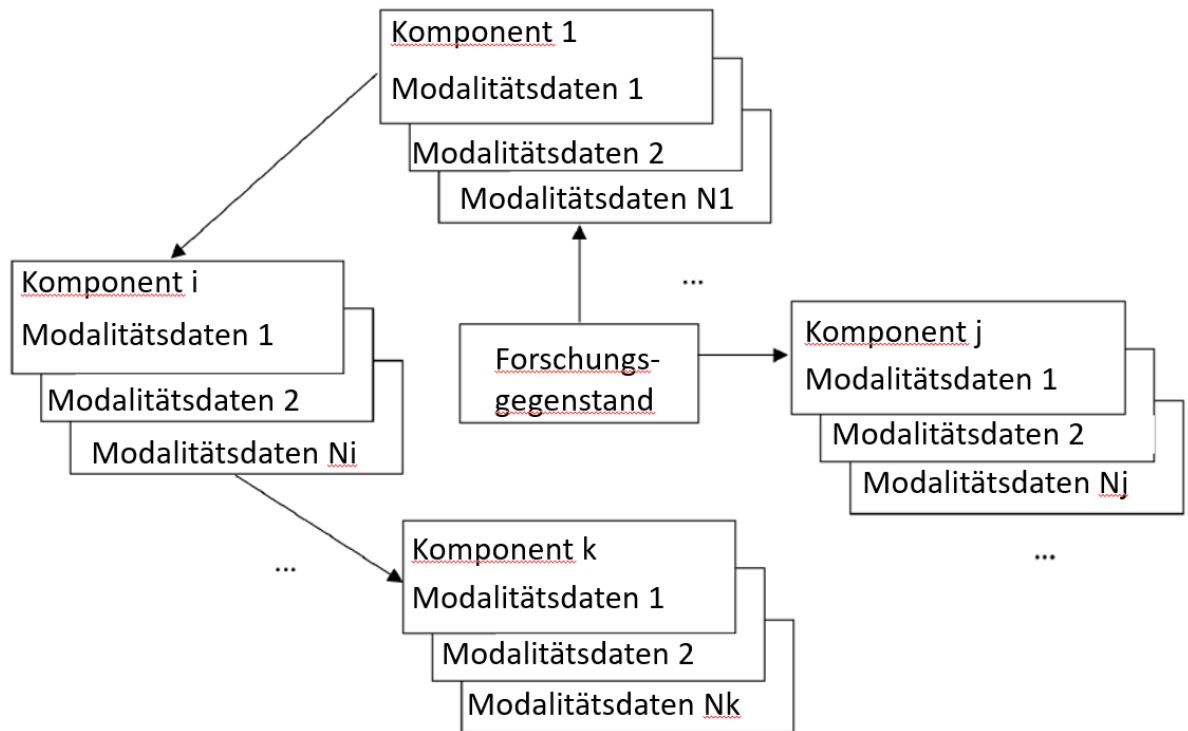


Abbildung 8: Das Gatorium-Modell des untersuchten Objekts

In einem mehrstufigen Modell kann der Objektraum zu einem Szenenraum erweitert werden, der mehrere Objekte enthält. Dann haben wir ontologische Modelle mit mehreren Ebenen und mehr Ebenen verschachtelt. Die Makroebene eines solchen verschachtelten ontologischen Modells mit mehreren Ebenen definiert eine Szene, die Objekte als Ganzes enthält, und die Mikroebene eines verschachtelten ontologischen Modells mit mehreren Ebenen definiert jedes Objekt einzeln. Ein mehrstufiges ontologisches Modell auf Makroebene lässt sich in Form einer Graphendatenbank (Graph Database) realisieren, beispielsweise Neo4j und Amazon Neptune [256, S.12], da man mit dieser Art der Speicherung Beziehungen speichern kann und navigieren Sie sie. Knoten in einer Graphdatenbank werden verwendet, um Datenentitäten zu speichern, und Kanten werden verwendet, um Beziehungen zwischen Entitäten zu speichern. Die Implementierung auf Mikroebene kann, wenn sie zum Speichern detaillierter Modelldaten verwendet wird, auf Objektdatenspeichern basieren, da diese Art von Datenbank zum Speichern von Audio- und Videostreams, Bildern und anderen großen Dateien entwickelt wurde. Beispiele für Objektspeicher sind Azure Data Lake Store [257, S.12] und Azure File Storage.

Wenn ein zeitgebundenes Modell verwendet wird, um detaillierte Daten zu speichern, kann die Implementierung der Mikroebene unter Verwendung eines Zeitreihen-Datenspeichers wie Prometheus und TimescaleDB [358, S.122] durchgeführt werden, der darauf ausgelegt ist, Datenzeitreihen zu speichern, insbesondere Telemetriedaten.

Einer der möglichen Zwecke des mehrstufigen ontologischen Modells besteht darin, es in Informationsabrufsystemen zu verwenden. Da das mehrstufige ontologische Modell semantisch verwandte multimodale Daten enthält, empfiehlt es sich, es als Informationsbasis für die Suche nach ähnlichen Objekten zu verwenden (z. B. alle Motoren zu finden, die einen Zylinder einer bestimmten Größe haben). Im Fall eines solchen mehrstufigen ontologischen Modells kann es als Repository von externen Indexdatenspeichern (External Index Data Stores) beispielsweise mithilfe von Azure Search erstellt werden, da ein solches Repository es Ihnen ermöglicht, nach darin gespeicherten Daten zu suchen andere Speicher, die in diesem Fall Datenspeicher auf Mikroebene sein werden, die Muxel- und zeitliche Konnektivitätsmodelle implementieren. Der Hauptzweck des mehrstufigen ontologischen Modells besteht darin, die Struktur und detaillierte Darstellung einzelner Komponenten des digitalen Duplikats des Untersuchungsobjekts zu beschreiben.

Grafikdaten gehören zu den redundantsten aller digitalen Duplikatdaten. Daher ist es ratsam, ihre Komprimierung durchzuführen, um die zu speichernde Datenmenge zu reduzieren. Bei Verwendung von verlustbehafteten Komprimierungsalgorithmen [359, S.22], die es ermöglichen, den höchsten Komprimierungsgrad zu erreichen, besteht jedoch die Gefahr, dass die Bildqualität nach ihrer Wiederherstellung aus komprimierten Grafikdaten reduziert wird. Daher ist es ratsam, die Struktur des Bildes zu berücksichtigen, indem Sie interessante Bereiche identifizieren.

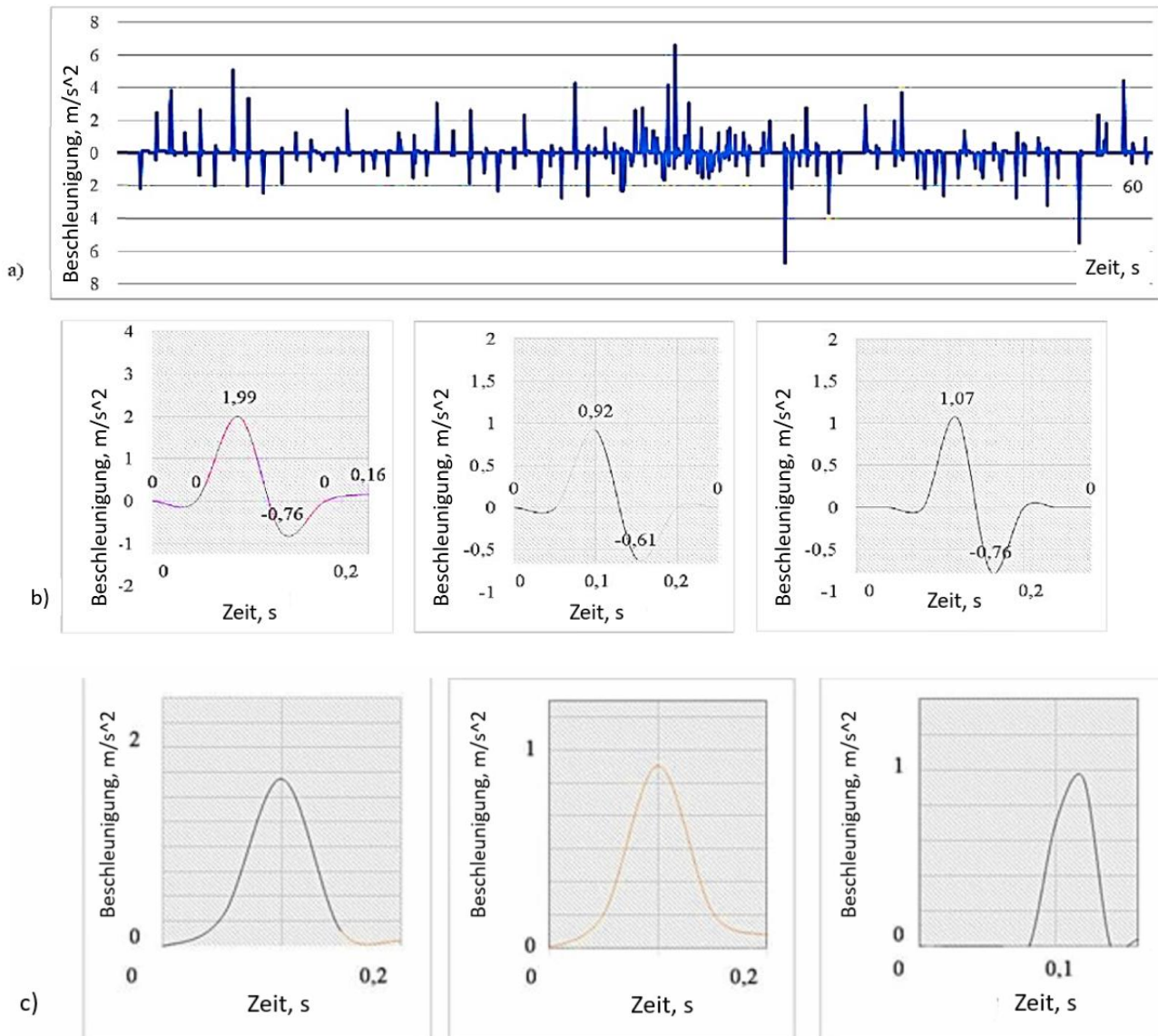
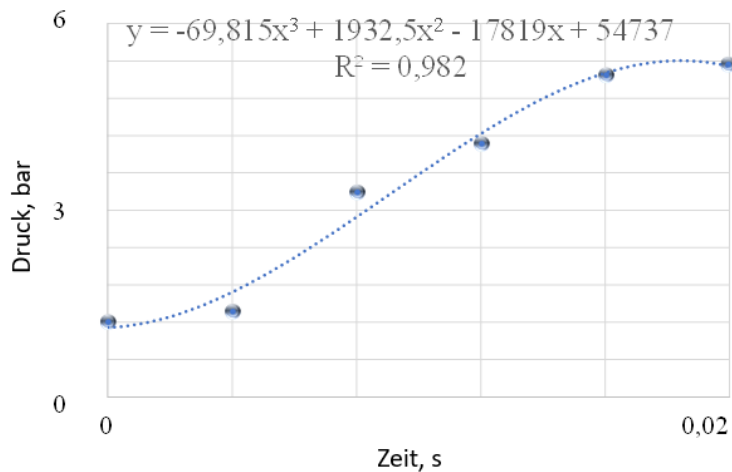
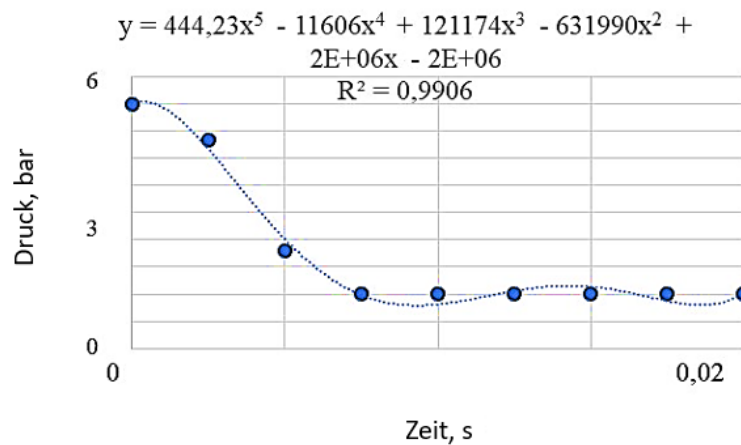


Abbildung 8. Graphen der Änderungen der kinematischen Parameter des ersten pneumatischen Aktuators im PTM des Versuchsstandes a) verallgemeinerter Graph a(t) der Beschleunigungsänderung vom Messzeitintervall bis 1 h ; b) skalierte Teile des Diagramms a(t) über einzelne Intervalle von Betriebsstunden des pneumatischen Stellantriebs in Excel; c) b) skalierte Teile des Diagramms der Geschwindigkeitsabhängigkeit von der Zeit $V(t)$ in Excel

Um eine mathematische und statistische Auswertung der erhaltenen experimentellen Diagramme durchzuführen, werden wir den Bereich der Druckänderung trennen und die entsprechende Änderung der Beschleunigung der Stange des Pneumatikzylinders zum Zeitpunkt des Hubs überwachen.



a)



b)

Abbildung 9. Experimentelle Daten zu Druckschwankungen in den Arbeitskammern von Pneumatikzylindern während des Betriebs und im Leerlauf: a) Druckschwankungen in der Kolbenkammer; b) Druckschwankungen in der Stangenkammer.

Der maximale Druck wird im Kolbenhohlraum in 0,02 s erreicht, was die Ergebnisse des mathematischen Modells von Abb. 9 bestätigt. Die Daten wurden während des Betriebs des doppelwirkenden pneumatischen Aktuators erhalten (Durchmesser des Kolbens des doppelwirkenden pneumatischen Zylinders 20 mm, für die Stange -8 mm, mit Arbeitsdruck - 6 bar; Rohrleitungsdurchmesser 4 mm). Die Einschätzung der Angemessenheit des oben beschriebenen mathematischen Modells zur Arbeit des realen Objekts wird nach der Nähe der Ergebnisse der Berechnungen mit den experimentellen Befunden bewertet. Der relative Fehler übersteigt 5 % nicht.

Die erhaltenen Ergebnisse, Abb. 10, zeigen eine signifikante Zunahme des Widerstands, der mit der Betätigung des eingebauten Dämpfers während des Betriebs des Antriebs verbunden ist.

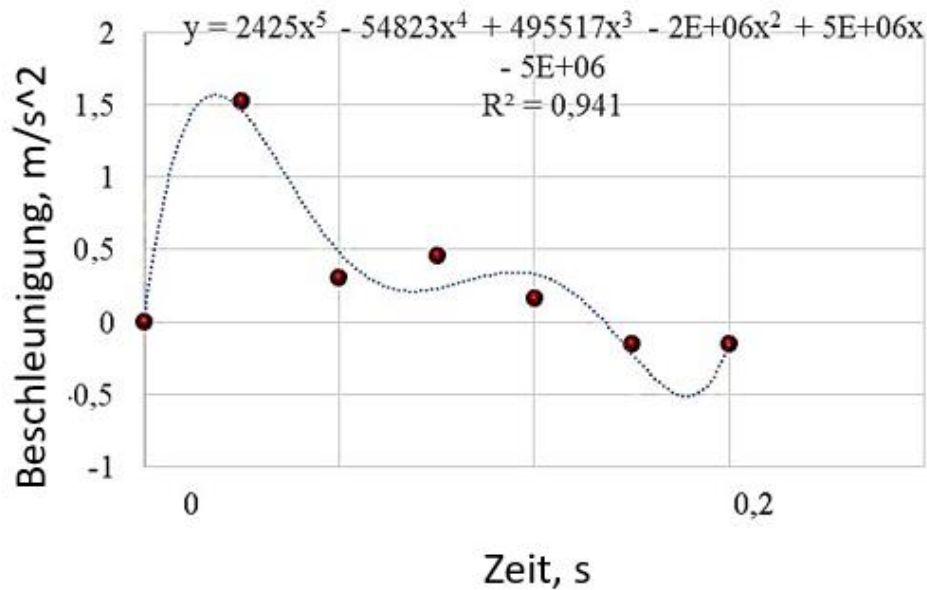


Abbildung 10. Experimentelle Daten zu Beschleunigungsänderungen während der Laufzeit

Betrachten Sie das Verhalten des technischen Systems beim Betrieb von pneumatischen Stellantrieben innerhalb des Drucks an der Hauptquelle von 3 bar, abhängig von den vorherigen Belastungsparametern, Abb.11.

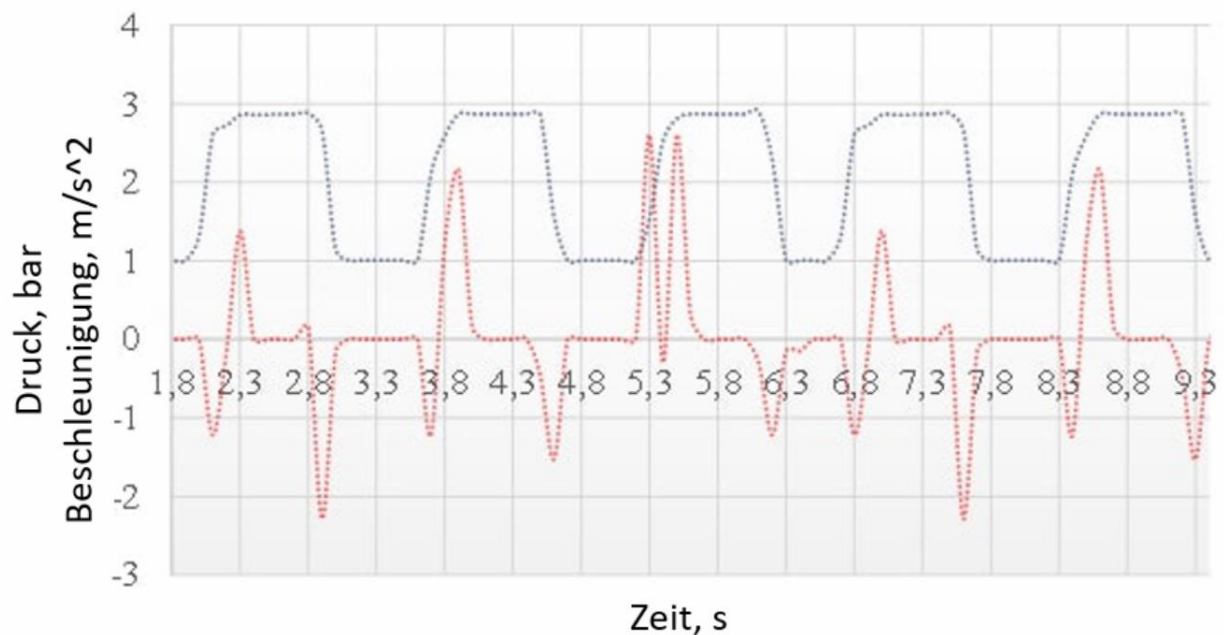
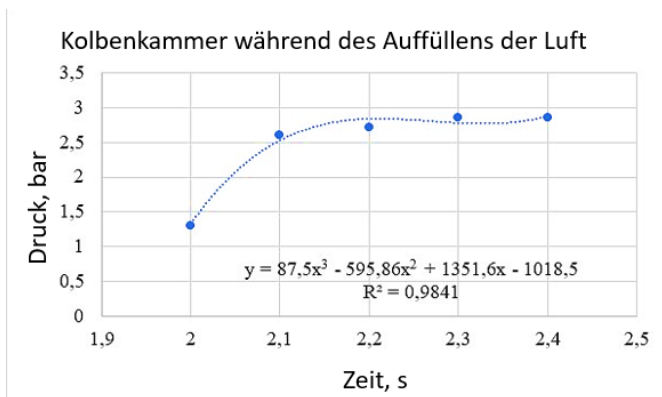


Abbildung 11. Testergebnisse für pneumatische Antriebe bei einem Mindestdruck von 3 bar

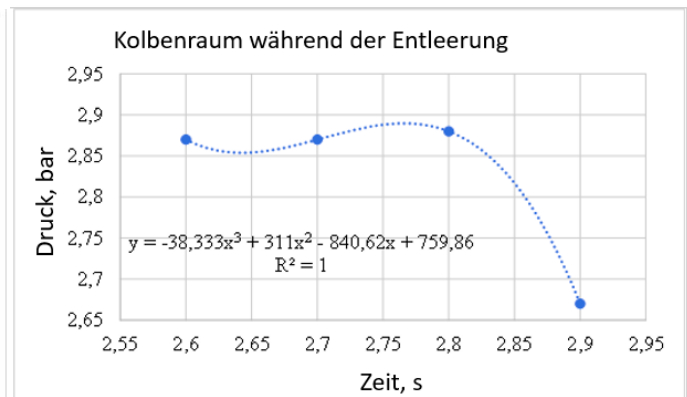
Die Ergebnisse von Abb. 12 zeigen die Wiederholbarkeit des pneumatischen Signals im Kolbenraum während des Vorgangs des Einspritzens und Entlüftens. Darüber hinaus veranschaulicht das Diagramm der Beschleunigung über die Zeit deutlich die Funktionsweise der im Pneumatikzylinder eingebauten Dämpfungsvorrichtung, die für eine automatische Bremsung des kinematischen Kolbenstangenpaars zum Zeitpunkt des Erreichens des Endpunkts sorgt (Hervorhebung auf der Abdeckung). Um die Ergebnisse klarer zu visualisieren. Lassen Sie uns einen Zyklus des Antriebs trennen, Abb. 12, und die Ergebnisse mit Hilfe von Elementen der technischen Analyse und Diagrammen von Annäherungsfunktionen von Excel teilen.



a)



b)



c)

Abbildung 12. Ergebnisse der einstufigen Analyse der PTM-Antriebsparameter

Die erhaltenen Ergebnisse von Fig. 12 bestätigen die vorherigen Ergebnisse der mathematischen Modellierung zur Änderung der Druckparameter in den Arbeitskammern des pneumatischen Zylinders mit bilateraler Wirkung innerhalb des Zeitintervalls von 0,4 s während der Injektion. Charakterisieren Sie auch die Änderung der Beschleunigung des Antriebs zum Zeitpunkt des Betriebs und im Leerlauf. Polynomgleichungen, die innerhalb der Graphen von experimentellen Punkten konstruiert wurden, zeigten hohe Werte der Approximationskoeffizienten R^2 , was auf einen hohen Grad an Zuverlässigkeit der Approximation hinweist. Die geringe Wiederholbarkeit des Beschleunigungsplans weist auf die Notwendigkeit hin, zusätzliche Systeme in den Aufbau des Strömungs-Transportmoduls einzubeziehen, bei Aufgaben mit ruhigem Lauf und Abbremsen des Antriebs bei Kontakt mit zerbrechlichen Gegenständen. Um die Ergebnisse der Auswirkungen auf den untersuchten Antrieb aller drei Prozessparameter (Druck, Zeit, Beschleunigung) zusammenzufassen, empfiehlt es sich, Konturdiagramme zu verwenden, Abb.13.

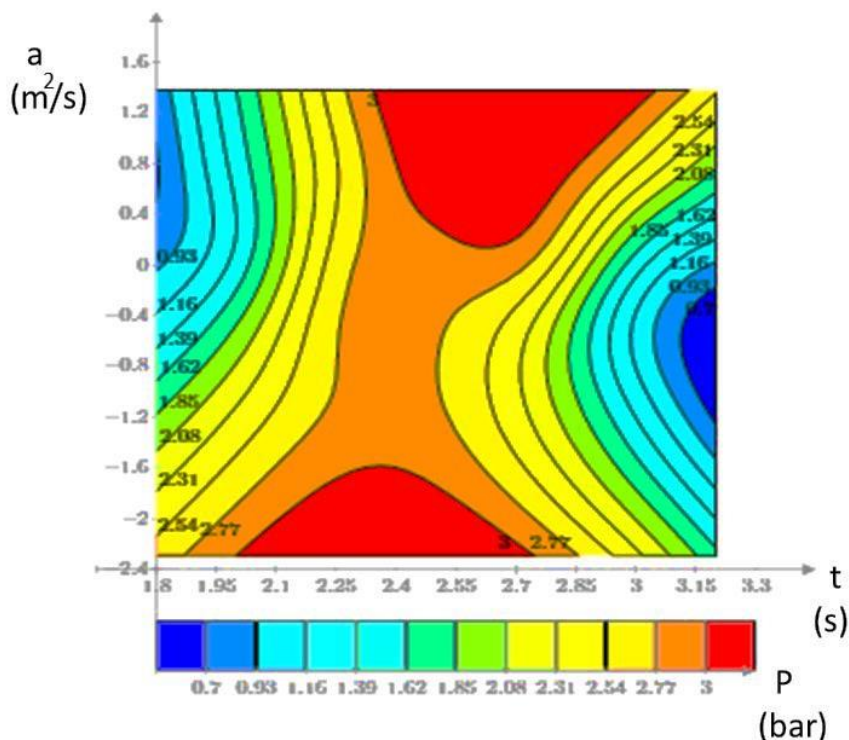


Abbildung 13: Analyse der PTM-Betriebsparameter bei einem Einzelhub und einem maximalen Druck von 3 bar

Mit Gliederungsdiagrammen können Sie 3D-Daten auf 2D-Diagrammen anzeigen. Jede Kontur repräsentiert einen Wert. Ein Konturdiagramm in Mathcad ist eine Reihe von Linien, von denen jede dem gleichen Wert der Funktion entspricht, die von zwei Variablen (Isolinien) abhängt. Solche Funktionen sind in der Untersuchung pneumatischer Systeme weit verbreitet. Die Konstruktionssequenz des Konturdiagramms ist wie folgt. Zunächst wird die Funktion zweier Variablen $f(x, y)$ eingeführt. Als nächstes werden die Werte von x_i und y_j bestimmt, die diskrete Punkte entlang der x- und y-Achse definieren. Die Matrix M wird mit den Werten von $f(x_i, y_j)$ gefüllt. Die Matrix M wird in Form einer Isolinienkarte angezeigt. Um den Einfluss eines bestimmten Parameters anhand von Konturlinien zu beurteilen, wird ihre funktionale Farbe verwendet. So können wir in unserem Fall den Einfluss des Drucks auf die Änderung der Antriebsbeschleunigung im Betrieb und im Leerlauf verfolgen.

Die erhaltenen Ergebnisse experimenteller Forschungen zeugen von der Effizienz des entwickelten Nachladegeräts mit digitaler Softwarekopie, die die Fernsteuerung des Systems und die Erfassung von Daten über seinen Betrieb in Echtzeit ermöglicht. Die Synthese des digitalen Überwachungssystems des pneumatischen Aktuators in Echtzeit wird zulassen, analytische Forschungen zwecks Annahme optimaler Verwaltungsentscheidungen durchzuführen. Das digitale Duplikatsystem bietet die Möglichkeit, den Zustand von Geräten zu überwachen, die Wahrscheinlichkeit und Folgen von Ausfällen vorherzusagen, das Risiko eines Geräteausfalls zu verringern und rechtzeitig gezielte Reparaturen oder Ersatztermine festzulegen.

8.2 Synthese eines adaptiven mechatronischen systems zum pneumatischen transport von schüttgutprodukten

Gegenwärtig sind pneumoelektrische Systeme (PES) in verschiedenen Bereichen der wissenschaftlichen und technischen Tätigkeit des Menschen weit verbreitet. Solche Systeme werden verwendet, um Aufgaben im Zusammenhang mit der Bewegung, Verteilung und Speicherung von Flüssigkeiten und Gasen zu erfüllen. Dies sind hauptsächlich Regelsysteme für mechanische Komponenten verschiedener Maschinen und Aggregate oder Regelsysteme für Parameter (Druck, Durchfluss) gasförmiger und flüssiger Medien. Designvielfalt, einfache und klare Bedienlogik und Zuverlässigkeit haben den Anwendungsbereich von PES für Produktionsprozesse unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen technischer Regelwerke erweitert. Die Fähigkeit, erhebliche Kraft und Geschwindigkeit zu übertragen, gewährleistet den Einsatz von PES im Bereich der Schwertechnik, die die Umwandlung erheblicher Gasenergie in mechanische Energie beweglicher Teile erfordert. Die Erfüllung der Aufgaben, für die PES bestimmt ist, wird durch Elemente von Rohrleitungsarmaturen erreicht, nämlich technische Geräte, die an Rohrleitungen, Ausrüstungen und Tanks installiert sind. Elemente von Rohrleitungsarmaturen dienen dazu, den Durchfluss des Arbeitsmediums durch Veränderung des Querschnitts zu steuern [360, S.37]. Die Zuverlässigkeit von PES hängt in den meisten Fällen von der Zuverlässigkeit richtig ausgewählter Elemente der Rohrleitungsarmaturen ab. Nach den aktuellen Normen [361, S.144] können folgende Haupttypen von Rohrleitungsarmaturen unterschieden werden:

- Absperrventile: Ventile, die dafür ausgelegt sind, den Fluss des Arbeitsmediums mit einer bestimmten Dichtheit zu blockieren;
- Rückschlagventile: Ventile zur automatischen Verhinderung Rückfluss der Arbeitsumgebung;
- Sicherheitsventile: Ventile zum automatischen Schutz von Anlagen und Rohrleitungen vor unzulässigem Überdruck durch Ablassen von überschüssigem Arbeitsmedium;

- Verteiler- und Mischventile: Ventile, die dazu bestimmt sind, den Strom des Arbeitsmediums in bestimmte Richtungen zu verteilen oder Ströme zu mischen;
- Regelventile: Ventile, die dazu bestimmt sind, die Parameter der Arbeitsumgebung durch Änderung der Durchflussrate oder des Querschnitts zu regulieren;
- Verteilerventile: Ventile zur Trennung von Arbeitsmedien in unterschiedlichen Phasenzuständen oder mit unterschiedlicher Dichte;
- Absperrventile: Ventile, die dazu bestimmt sind, den Fluss des Arbeitsmediums zu blockieren. Bedingung für Überlappung kann sein: Überschreiten des vorgegebenen Wertes der Strömungsgeschwindigkeit; Änderungen des Druckabfalls am empfindlichen Steuerelement; Änderungen des eingestellten Druckwertes in der Rohrleitung.

Eine häufig in PES eingesetzte Art von Regelventil ist ein Druckregler, der den Druck des Arbeitsmediums im Regelobjekt in einem vorgegebenen Wertebereich hält. Druckregler werden in Systemen für verschiedene Zwecke eingesetzt: von häuslichen Gasverteilungssystemen bis hin zu Raketentriebwerken und Luftversorgungssystemen, um den Lebensunterhalt von Astronauten zu sichern. Das Steuerelement in den meisten Druckreglern ist ein Ventil. Das Ventil ist mit einem Arbeitselement in Form einer Platte (im Folgenden Plattenventil) ausgestattet, das mit dem Aktuator oder Sensorelement verbunden ist. [362, S.247]. Die Ventilplatte ist ein bewegliches Element der Struktur, das beim Zusammenwirken mit dem Sitz einen Drosselabschnitt bildet, dessen Gasdurchfluss den Druck auf das Regelobjekt bestimmt. Um die Leistung zu verbessern, verwendet der Druckregler Feder- und Antriebssysteme. Der Druckregler bildet zusammen mit dem Regelobjekt ein geschlossenes Regelsystem. [363, S.17]. Bei der Beeinflussung des Systems durch Faktoren wie beispielsweise Änderungen der Verbraucherausgaben ändert sich der Ausgangsparameter (Druck des Arbeitsumfelds). Dementsprechend tritt das System in einen neuen Zustand ein, der für den normalen Betrieb stabil sein muss. Der im Druckregelsystem vorhandene Einschwingvorgang kann glatt oder von Schwingungen begleitet sein. Schwankungen

führen zu erhöhten Vibrationen und Geräuschen, die zu Brüchen und sogar zur Zerstörung von Geräten führen können. [364, S.120]

Um solchen Phänomenen vorzubeugen, wird bei der Entwicklung neuer Aktuatoren der Druckregler immer schon bei der Simulation von Arbeitsabläufen in Druckreglern vorgeprüft. Am schwierigsten ist es, die im Betrieb auf die Ventilplatte wirkenden Gaskräfte zu ermitteln. Zur Untersuchung dieser Phänomene wird in der Fachliteratur das Konzept des Auftriebskoeffizienten [365, S.25] oder in anderen Quellen der Strömungsdruckkoeffizient [366, S.34] verwendet. Der Beiwert berücksichtigt die Differenz zwischen der tatsächlichen Druckkraft des Mediums auf den Ventilteller, in Steigrichtung, und der statischen Druckkraft auf der Fläche des Tellers, die durch den Durchmesser des Ventilsitzes begrenzt ist. Die Druckverteilung auf der Ventilplatte ist aufgrund der dynamischen Kraft der Strömungsreaktion ungleichmäßig.

Heute gibt es eine experimentell ermittelte Basis von Auftriebszahlen, die sich auf typische Konstruktionen von Druckreglern beschränkt. Leider umfasst dies nicht die gesamte Palette möglicher Lösungen und schränkt die Möglichkeiten ein, diese Datenbank bei der Entwicklung neuer Geräte zu verwenden. [367, S.40].

Als Ergebnis der topologischen Analyse pneumatischer Transportsysteme werden die charakteristischsten technologischen Schemata und Regulierungsgesetze der Steuereinflüsse auf den Luftstrom getrennt.

Nach einer sorgfältigen Analyse der bestehenden Konstruktionslösungen von Versorgungssystemen für Gas- oder Flüssigkeitsgemische wurde festgestellt, dass der größte Vorteil in Konfigurationen mit elektropneumatischem automatischen Steuersystem vorhanden ist. Dies beinhaltet den Anschluss an das Objekt des Steuergeräts (Druckregler) und den Eingang zum Rückkopplungssystem. Somit hat das verallgemeinerte Blockdiagramm die Form von Fig. 1.

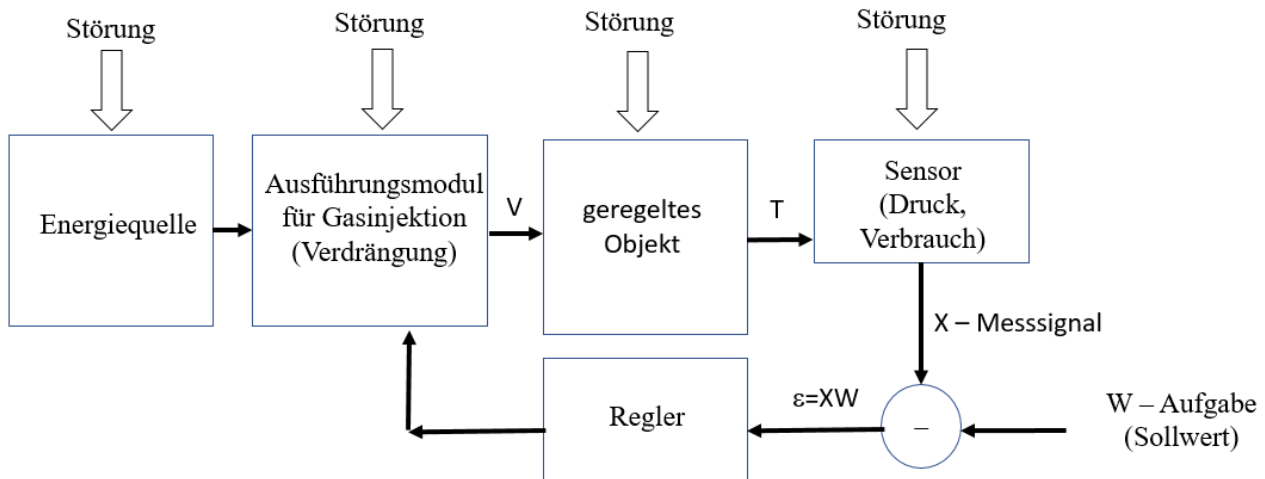
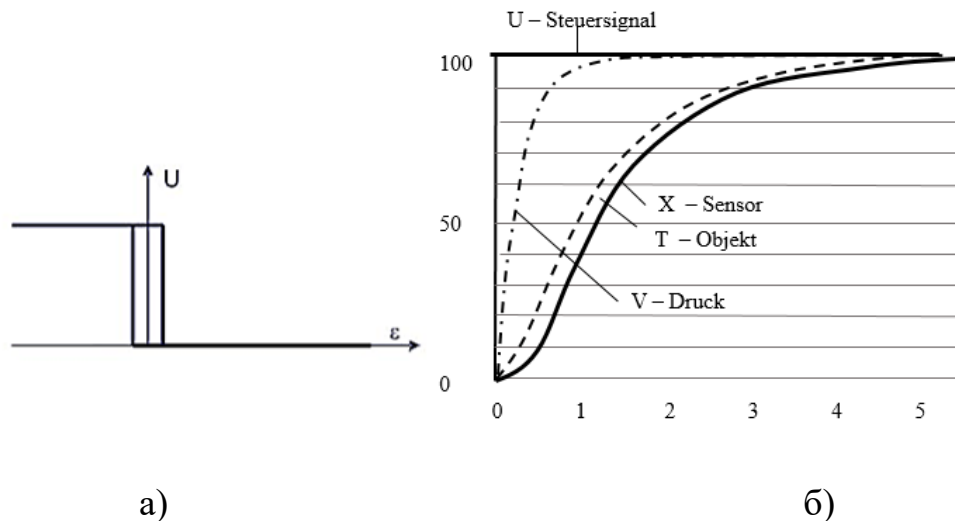


Abbildung 1. Blockdiagramm des Systems zur automatischen Regulierung des Luftstroms in der pneumatischen Produktleitung

Der Eingang des Reglers erhält ein Mismatch-Signal ε - die Differenz zwischen dem gemessenen Signal X und dem vorgegebenen Füllstand W (Sollwert). Die Aufgabe des Reglers besteht darin, das Stellglied so anzusteuern, dass das Fehlanpassungssignal bei Vorhandensein von Störungen auf Null reduziert wird. Wir glauben, dass der Regler durch den Aktuator und den Sensor vom Regelungsobjekt getrennt ist. Obwohl sie Teil des Steuerungssystems sind, „kennt“ die Steuerung die direkt mit dem Objekt verbundenen Signale V und T nicht. Die Aufgabe des Controllers ist es, nicht nur ein Objekt zu steuern, sondern ein ganzes System aus drei Elementen: Aktor, Objekt, Sensor. Dies erschwert die Verwaltung und mindert deren Qualität. Bei pneumatischen Ausstoßsystemen, deren Betrieb in direktem Zusammenhang mit dem Druckluftverbrauch und der arbeitstechnischen Umgebung steht, steht das Präzisionssteuerungssystem in direktem Zusammenhang mit der Leistung eines einzelnen FMM und der gesamten Verpackungsmaschine. Regler sind durch die Abhängigkeit des Steuersignals $U(t)$ von der Fehlanpassung $\varepsilon(t)$ gekennzeichnet:

$$U(t) = F\{\varepsilon(t)\}. \quad (1)$$

Im allgemeinen Fall ist die Funktion $F\{\varepsilon(t)\}$ ein nichtlineares Integro-Differential, dh ziemlich komplex. Die Zielfunktion des Reglers besteht darin, die Fehlanpassung ε bei Vorhandensein von Störfaktoren auf Null zu reduzieren. Verwendet das Regelsystem einen Stellungsregler, erfolgt die Regelfunktion gestuft, Abb. 2.



Figur 2. Allgemeine Art der Steuerwirkung auf das Steuerobjekt (Luftversorgungssystem zur Rohrleitung): a) Sprungfunktion; b) ein Beispiel für die Steuerwirkung des Reglers auf den technologischen Parameter

Betrachten Sie das Problem der Anpassung des elektropneumatischen Druckreglers in das Steuersystem der pneumatischen Förderproduktlinie für Schüttgüter. In [368, S.115] wird der Einsatz einer automatischen Anpassung des pneumatischen Aktuators an Laständerungen durch Beibehaltung der Geschwindigkeit betrachtet. Die Anpassung erfolgt durch einen Druckimpuls im Arbeitsraum der Produktleitung. In dieser Arbeit [369, S.22] wurde ein adaptives mechatronisches Modul basierend auf Druckreglern und dem ursprünglichen Treiber des Steuersignals für Druckluft entwickelt. Camozzi, Festo, SMC, Pneumax, Air Torque bieten in der Regel mechatronische Systeme mit internen Steuergeräten, die Druckluftströme steuern. Auf der Grundlage der Analyse von Methoden und Mitteln zur Steuerung von technologischen Geräten mit pneumatischen Aktuatoren sowie Methoden zur Regulierung der Geschwindigkeit und Zeit des Impulsflusses im pneumatischen Transport wird eine verallgemeinerte Struktur des Abschnitts des pneumatischen Transports vorgeschlagen (Abb. 2).

Die durchgeführten experimentellen und theoretischen Studien basieren auf der Anwendung der Grundgesetze der theoretischen Mechanik, der Hydrodynamik mehrphasiger Medien, der Theorie der Lösungen gewöhnlicher Differentialgleichungen, Gleichungen in partiellen Ableitungen, numerischer

Methoden; Mechanik des deformierten Körpers; die Arbeiten des Autors über die experimentelle Erforschung der Pneumotransportprozesse. [370, S.462]

Das Funktionsprinzip des Versuchsaufbaus ist wie folgt. Der arbeitende vertikale Kanal der Produktleitung geht in den Bereich des Schneckenrichters des Beschickers über, der das feinkörnige Produkt in den Bereich der Druckluftzufuhr leitet. Im vertikalen Rohr wird die Bewegung des Produkts durch zwei Zonen dargestellt: den Beschleunigungsbereich; der Bereich der Stabilisierung der Bewegung des Produkts, in dem Geschwindigkeit und Konzentration im Fluss konstant sind. Der Druckluftverbrauch hängt vom Wert des Eingangshauptdrucks P (0,1 ... 0,3 MPa) ab und beträgt gemäß [12, S.18] 80-160 NI / min.

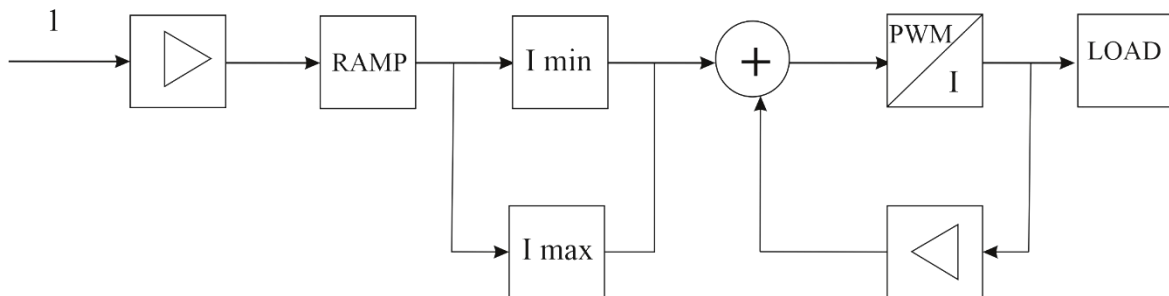


Abbildung 2. Schema der Signalübertragung für die gepulste Druckluftversorgung in einer vertikalen Rohrleitung: 1 - Standardsignal; RAMP - Kalibrierung der Übertaktungszeit; I min, I max - Strombelastung (mA); PWM - Leistungssteuerung durch pulsierendes Ein- und Ausschalten des Geräts; I - Stromkalibrierung (mA), Maximalwert des dem Ventil zugeführten Stroms mit einem Referenzsignal von 100% einstellen.; LAST - Last im Steuerkreis. In dem Steuersystem von Fig. 2 werden Camozzi-Elemente verwendet: Treiber der Serie 130 zur Steuerung von Proportionalventilen des Ventiltyps AP (2/2), elektronischer Sensor/Druckschalter, Serie SWCN, Booster 40M2L100A120MC02.

Betrachten Sie den Prozess des pneumatischen Transports von kleinstückigen Produkten im Versuchsstandsystem. Der Prozess der Partikelrotation im Gasstrom ist mit dem Fehlen einer Kugelform, dem Vorhandensein einer Stoßwechselwirkung zwischen den Partikeln und der Wand der Produktleitung sowie dem Effekt des Verdrehens von Partikeln durch einzelne kleine turbulente Wirbel verbunden. Die Beschreibung der Kontroll- und Messausrüstung ist in Abb. 3 dargestellt. Розглянемо

процес при пневмотранспортуванні дрібно-штучного продукту в системі експериментального стенду.

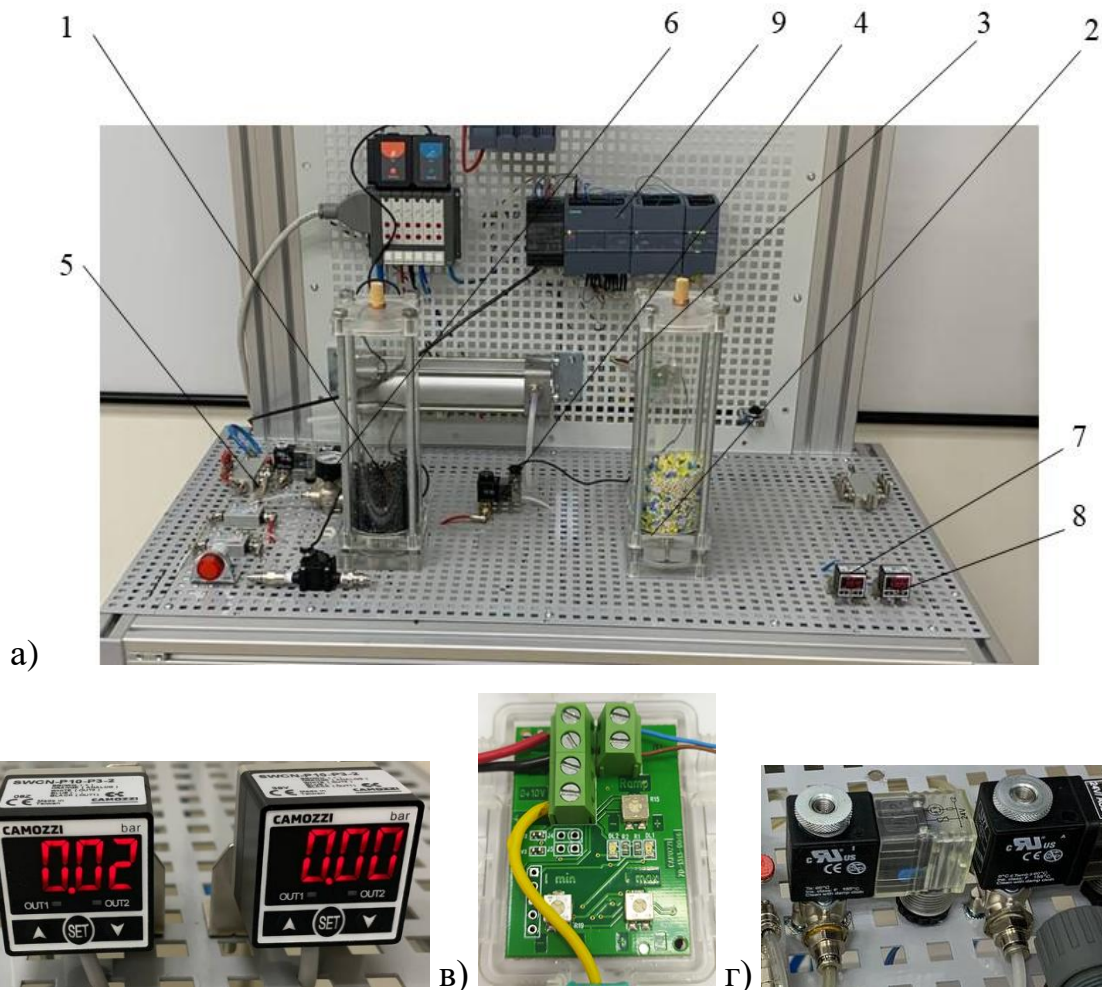


Abbildung 3. Art des Versuchszustandes zur Untersuchung des pneumatischen Transports von Massen- und Kleinstückprodukten: 1,2 - vertikale Kanäle; 3,5 - Treiber der Steuerung der proportionalen Zufuhr des Impulses der Druckluft (in); 4,6 - proportionale elektromagnetische Verteiler mit direkter Wirkung 2/2 (g); 7,8 - elektronische Vakuum- / Druckrelais mit Analogausgang (b); 9 - Programmiergerät zur Einstellung des Signaländerungsgesetzes 4... 20mA

Während der experimentellen Forschung entstand die Aufgabe, die physikalischen Parameter des Prozesses zu messen und deren weitere Verwendung zur Änderung der Eingangsparameter des Systems. Insbesondere SWCN-Druckrelais (Abb. 3, b) wurden verwendet, um die Druckänderung zu messen, deren Daten an das Steuergerät (in diesem Fall die SPS) übertragen werden können und die Grundlage für die Einstellung neuer Betriebsparameter des Systems bilden.

Die Möglichkeit, variable Modi der Druckluftversorgung sowie die Echtzeitanpassung im Versuchsstand einzustellen, wird durch die in Abb. 3 (c) gezeigten Geräte implementiert. PWM-Signalgeber zur direkten Ansteuerung von Proportionalventilen über typische Analogsignale. Mit der elektronischen Proportionalventilsteuern der Serie 130 können Sie jedes Magnetventil mit einem maximalen Strom von bis zu 1 A steuern. Um die Wiedergabe der oben beschriebenen Steuersignale zu ermöglichen, ist ein spezielles elektropneumatisches Ventil AR, gezeigt in Fig.3 (d), vorhanden. In den AP-Ventilen für die Umsetzung der Proportionalsteuerung wurden die Reibungseigenschaften optimiert und der Effekt des „Klebens“ des beweglichen Elements reduziert. Als Steuersignal wird das pulswidenmodulierte Spannungs- oder Stromsignal verwendet.

Im System des Versuchsstandes wird das PWM-Prinzip genutzt, um eine gepulste Druckluftzufuhr in die pneumatische Produktleitung des Transportsystems für lose Lebensmittelprodukte zu formen.

Pulsweitenmodulation (PWM) Annäherung des gewünschten Signals (mehrstufig oder kontinuierlich) an die tatsächlichen binären Signale (mit zwei Pegeln - ein / aus), so dass ihre Werte im Durchschnitt für einen bestimmten Zeitraum gleich sind. Das Prinzip der Pulsweitenmodellierung (PWM) ist seit langem bekannt, wird jedoch erst seit relativ kurzer Zeit in verschiedenen Schemata verwendet. Es ist ein wichtiger Punkt in der Arbeit vieler Geräte, die in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden.

Der entwickelte Versuchsstand am Ort der Druckluftimpulsbildung ist mit mehreren Regelschemata ausgestattet, die in Abb.4 dargestellt sind.

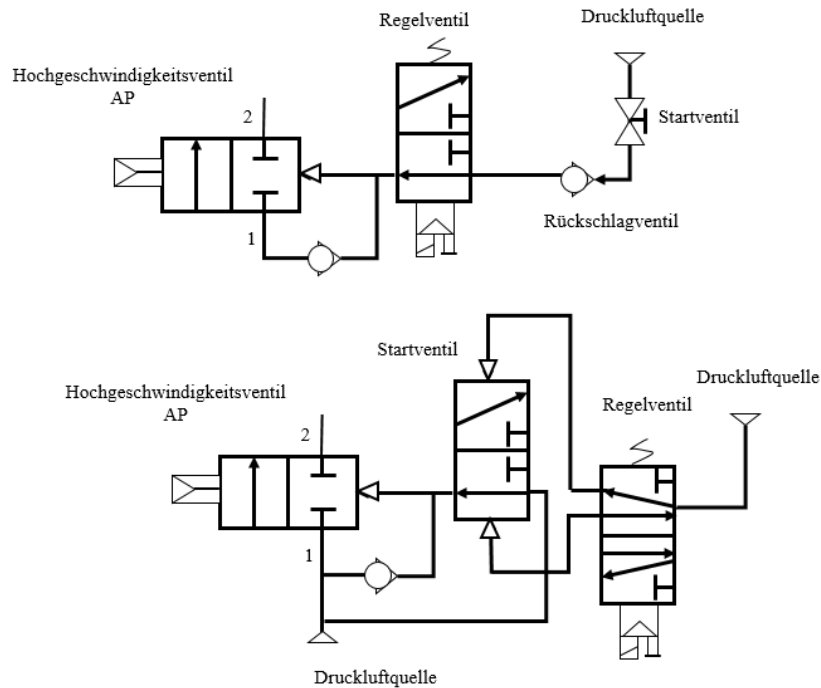


Abb.4. Schematische pneumatische Diagramme des Steuerbereichs des AR-Ventils

Das Prinzip von PWM, wie dieser Name schon sagt, besteht darin, die Impulsbreite des Signals zu ändern. Bei Verwendung des Verfahrens der Pulsweitenmodulation bleiben Signalfrequenz und -amplitude konstant. Das nützliche PWM-Signal kann durch Vergleichen des kontinuierlichen Steuersignals V_c und des Hochfrequenz-Trägerwellensignals V_d wie gezeigt (Fig. 5) implementiert werden. Normalerweise trägt der Zahn Hochfrequenzwellen mit einer Periode T . Die Frequenz und Amplitude der Trägerwelle muss sich schneller ändern als bei einem kontinuierlichen Signal, dh. das PWM-Signal kann auf einfache Weise erhalten werden, indem das kontinuierliche Steuersignal V_c mit dem Trägersignal V_d verglichen wird, wie in der Figur gezeigt.

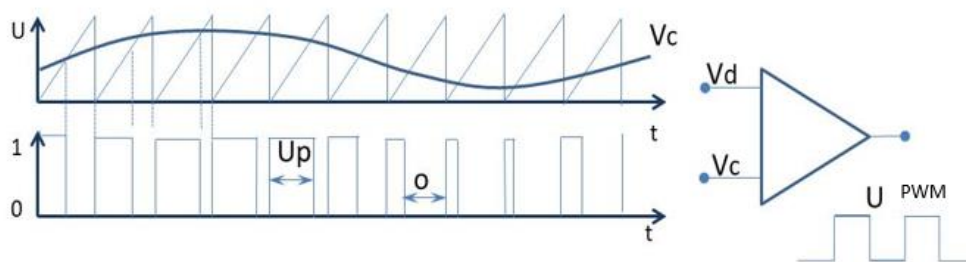


Abbildung 5. Das Prinzip der PWM-Signalerzeugung

Wenn die Zeit zum Ansteigen und Absenken von Impulsen klein ist, lautet die mathematische Beschreibung der PWM-Modulation wie folgt [370, S.56]:

$$U_{PWM}(t) = \begin{cases} U_p, & \text{wenn } V_c(t) \geq V_d(t); \\ 0, & \text{wenn } V_c(t) < V_d(t), \end{cases}$$

wo U_{PWM} - Eingangsspannung (Signal);

$$U_{PWM}(t) = \begin{cases} U_p, & \text{Schalter offen,} \\ 0, & \text{Schalter geschlossen.} \end{cases}$$

Wir gehen davon aus, dass das Magnetventil ein ideales Relais ist und entsprechend eingeschaltet ist, wenn das PWM-Signal signifikant ist.

Dementsprechend bestimmt die Summe der Zeit des High- und Low-Signals die Periode [371, S.67]. Wichtige Parameter des PWM-Signals sind:

$$D = \frac{T_{on}}{T_{II}}; \quad T_{II} = T_{on} + T_{off},$$

D ist das Bohrloch; T_{II} - Signalperiode; T_{on} - Hochpegelzeit (Ventil geöffnet); - Niedrigniveauzeit (Ventil geschlossen). Wir berücksichtigen auch das Konzept des Füllfaktors, der umgekehrt proportional zum Wahnsinn ist.

Unter Verwendung des synthetisierten Treibers auf der Plattform 130-222 und des Ventils AP -2/2 NC in Abb. 6 wird eine allgemeine Ansicht des mechatronischen Adaptersystems und des Integrationsschemas in das Steuersystem des Versuchsstands gezeigt.

Betrachten Sie den Prozess des pneumatischen Transports, gesteuert durch Druckluftimpulse, die die Betriebsmodi bestimmen. Der Luftstrom wird am Eingang des Kanals mit dem Produkt mittels eines pneumatischen Ventils gebildet, das durch die Stromerzeugung durch die Heaviside-Funktion (Einzelschrittfunktion) gesteuert wird. Der Strommesswert in mA (ab 0,001 mA) bezogen auf die Normskala I_{max} , $I_{min} = 4..20$ mA, aufgezeichnet in den Bereichen 4,1 mA ... 19,9 mA; 12 mA ... 19,9 mA. Verbrauchskennlinie des pneumatischen Ventils in der Installation = 180 NI / min Die Dauer der Funktionsperiode wird mit 0,3 s angenommen.

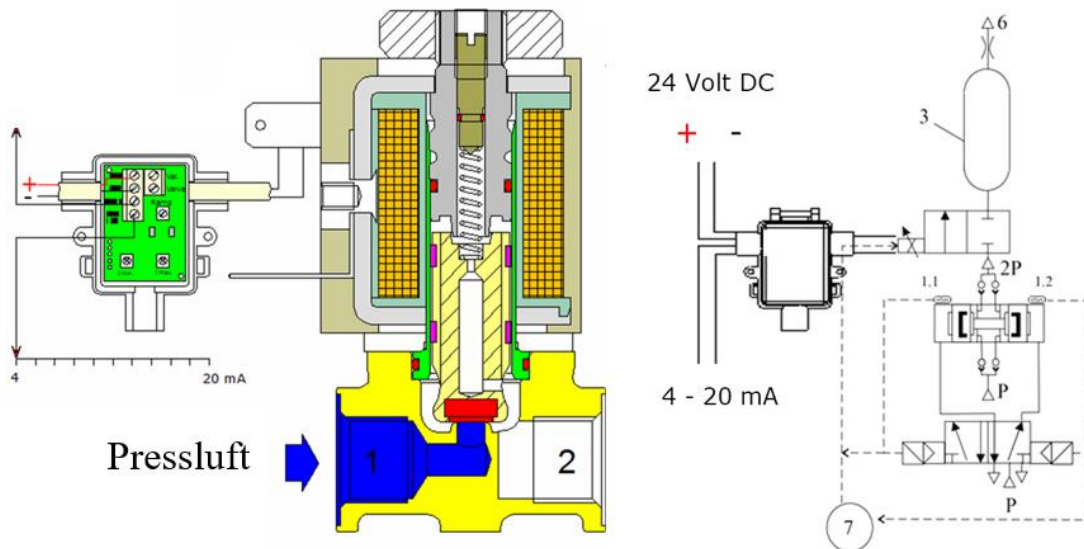


Abbildung 6. Allgemeines System der PWM-Modulation im Steuermodul des Versuchsstands: a) Abschnitt des AR-Ventils mit dem Treibersystem; b) das Anschlussschema des Fahrers im allgemeinen Steuerschema

Bei der Formulierung des Problems der mathematischen Modellierung betrachten wir die Bewegung eines kugelförmigen Teilchens mit Radius r' , Dichte ρ' in einer turbulenten Gasströmung. Bedingungen: stationäre Strömung, inkompressibles Gas, kinematische Viskosität $\nu = \mu/\rho$. μ - ist die dynamische Viskosität des Gases (Druckluft), ρ ist die Dichte der Luft. Da Druckluft turbulent ist, unterliegt der Widerstand des Partikels gegenüber dem Gas dem nichtlinearen Gesetz. Daher wirkt die Schwerkraft auf das Teilchen; $G = \rho' \cdot g'$, (H); g' - Vektor der Erdbeschleunigung. Die Eingabeparameter des mathematischen Modells werden unter Berücksichtigung folgender Werte beschrieben: Teilchenradius $r' = 3 \cdot 10^{-3}$ (m); Dichte des einzelnen Partikels des Schüttguts $\rho' = 1,25 \cdot 10^3$ (kg·m⁻³); $\rho' = 1,24 \cdot 10^3$ (kg·m⁻³); Beschleunigung des freien Falls $g = 9,81$ (m·s⁻²); maximaler Druckluftvolumenstrom $v_m = 20$ (m·s⁻¹); dynamische Viskosität $\rho' = 1,24 \cdot 10^{-3}$ (kg·m³); Rohrradius $b = 0,05$ m. Im Druckluftstrom erhält das Partikel eine Rotationsbewegung, die die Bewegungsgleichung bestimmt (Abb.2.5):

$$\frac{\pi}{6} (2 \cdot r')^3 \rho' \frac{du_i}{dt} = D'(v_i - u_i) + G_i + F_s,$$

$i = x, y, z$; v_i – Projektion des Geschwindigkeitsvektors der Druckluft; u_i – Projektion des Teilchengeschwindigkeitsvektors \bar{u} in Bezug auf das feste Bezugssystem x, y, z ; F_i – Projektionen des Rubinov-Keller-Kraftvektors auf die sphärische Oberfläche des Partikels von der Seite der Druckluft während der Rotation; G_i – Projektion des Gravitationsvektors auf das Teilchen; wo

$$D' = 6\pi\mu r' \left(1 + 0,065 \left(\frac{2}{\mu} r' \rho' (\sqrt{\bar{u} - \bar{v}}) \right) \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (2)$$

Die Rotationsbewegungsgleichung von Teilchen zusammen mit der Bewegungsgleichung

$$\begin{cases} \frac{4}{3} \pi \cdot r'^3 \cdot \rho' \cdot \frac{du_x}{dt} = D'(v_x - u_x) + G_x + F_x, \\ \frac{4}{3} \pi \cdot r'^3 \cdot \rho' \cdot \frac{du_y}{dt} = D'(v_y - u_y) + G_y + F_y, \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = -\pi\mu(2 \cdot r')^3 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} - \omega \right). \end{cases} \quad (3)$$

wo $\omega = \omega_z$ – Projektion des Vektors aus der Winkelgeschwindigkeit während der Drehung des Teilchens auf die z-Achse; J-Trägheitsmoment des Teilchens relativ zur Mittelachse, die parallel zur Achse O_z verläuft: $J = \frac{\pi \cdot (2 \cdot r')^5 \rho'}{60}$.

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = -\pi\mu(2 \cdot r')^3 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} - \omega \right). \quad (4)$$

Berechnungsschema der kinematischen Eigenschaften des Partikels für den etablierten Transportmodus (Abb. 7).

Im Moment der Kollision von Partikeln mit einer Wand einer Produktleitung müssen Geschwindigkeiten nach dem Abprall von einer Oberfläche unter Berücksichtigung möglicher Flugbahnen berechnet werden. Um die kinematischen Parameter des Verhaltens von Partikeln nach dem Aufprallkontakt mit der Wand der Produktleitung zu berechnen, nehmen Sie den Radius des kugelförmigen Partikels $r = d / 2$, alle Parameter nach dem Aufprall sind mit * gekennzeichnet.

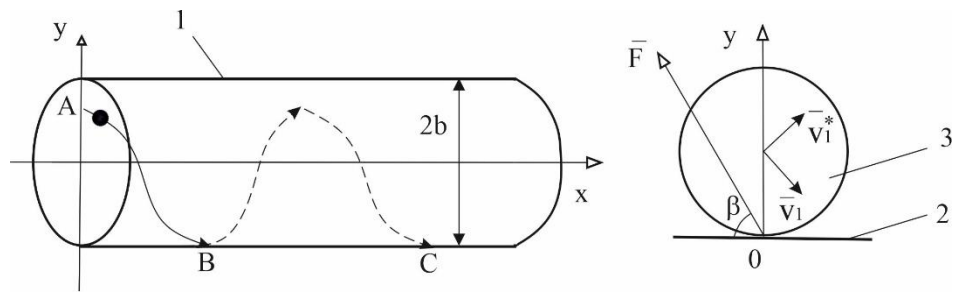


Abbildung 7. Die Flugbahn des Partikels mit gemeinsamen kinematischen Eigenschaften: 1 - Produktleitung, 2 - Innenwand der Produktleitung, 3 - Anteil des feinkörnigen Produkts

Eigenschaften des Partikels beim Aufprall (M ist eine Funktion der Position des Objekts):

$$\begin{aligned}
 M(\dot{x}_1^* - \dot{x}_1) &= -|F| \cos \beta, \\
 M(\dot{y}_1^* - \dot{y}_1) &= |F| \sin \beta, \\
 M(x_1(\dot{y}_1^* - \dot{y}_1) - y_1(\dot{x}_1^* - \dot{x}_1)) + J_1(\omega_z^* - \omega_z) &= 0,
 \end{aligned} \tag{5}$$

Das erhaltene mathematische Modell des beschriebenen Modus während des Pneumotransports wird gelöst, indem die Bewegungsgleichungen auf die kanonische Form reduziert werden. Numerische Berechnungsmethoden nach der Runge-Kutt-Theorie mit einem Unterprogramm nach dem Schema der vierten Genauigkeitsordnung ermöglichen es, erste Ergebnisse für Experimente zur Untersuchung kritischer Arten des pneumatischen Transports von Schüttgütern zu erhalten. Nach Transformationen werden die Werte der Winkel - ω_z^* und \dot{x}_1^* Lineargeschwindigkeit der Partikelbewegung nach dem Aufprall erhalten:

$$\omega_z^* = \frac{J_{z1} + \frac{md^2}{4}k_\tau}{J_{z1} + \frac{md^2}{4}} \cdot \omega_z - \frac{1}{2} \left(\frac{md(1-k_\tau)}{J_{z1} + \frac{md^2}{4}} \right),$$

$$\dot{x}_1^* = k_\tau \dot{x}_1 + k_\tau \frac{d}{2} \omega = - \left\{ \frac{J_{z1} + \frac{md^2}{4}k_\tau}{J_{z1} + \frac{md^2}{4}} \cdot \frac{d \cdot \omega_z^2}{2} + \frac{1}{4} \left(\frac{md^2(1-k_\tau)}{J_{z1} + \frac{md^2}{4}} \right) \right\}. \quad (6)$$

Der moderne Ansatz zur Schaffung von pneumatischen Transporteinheiten, die in nicht standardmäßigen Modi der Luftgemischbewegung arbeiten, basiert auf Untersuchungen von Phasenzuständen und Übergängen von Luftgemischen, Bedingungen ihrer Bildung und Erhaltung in verschiedenen Abschnitten der Transportleitung [371, p .197]. Die Verbesserung der technischen Leistungsfähigkeit der pneumatischen Förderung von Schüttgütern wird durch Intensivierung des Stoffaustausches durch Energiezufuhr mit zusätzlichen Luftdüsen, Verwirbelung der Strömung, Vibrationswirkungen auf das Schüttgut oder das Zusammenwirken mehrerer Faktoren erreicht [372, S.255]. Zur Verbesserung des Stoffaustausches tragen auch die in der Rohrleitung auftretenden Schwingungsvorgänge durch die strukturierte Bewegung des Luftgemisches und die Wellen der „Verdichtung – Verdünnung“ des Gasstoffstromes bei.

Aufgrund der theoretischen Untersuchungen des Prozesses der Zerstörung der Kellerbildung von losen Lebensmitteln in Futterbunkern wird die Aufgabe gestellt, ein mathematisches Modell der Arbeit des Pneumozzle-Vernichtungssystems (Luftkanonen) zu entwickeln. Zur Berechnung von Arbeitsprozessen in Kraftwerken haben sich in letzter Zeit CAE-Pakete (Computer-Aided Engineering) durchgesetzt. Es sollte beachtet werden, dass solche Pakete im Fall der Verwendung gasförmiger Komponenten eine akzeptable Genauigkeit für technische Berechnungen gewährleisten können.

Die Approbation des entwickelten 3D-Moduls wurde für das Softwarepaket ANSYS Fluent durchgeführt. Unter Verwendung des entwickelten Moduls wurde eine parametrische numerische Studie des Arbeitsprozesses in einer asymmetrischen Direktflussstruktur durchgeführt. Die durchgeführte Modellierung zielt darauf ab, Muster zu identifizieren, die den Einfluss des Verhältnisses der Komponenten, die Bedingungen der Zweiphasenmischung (Luft - Partikel) und deren Einfluss auf die Effizienz des Arbeitsprozesses beschreiben. Als Ergebnis des Vergleichs der Ergebnisse der Parameterstudie mit experimentellen Daten ist es möglich, ein spezifisches praktisches Problem zu lösen: die Werte der empirischen Konstanten im Bewegungsgesetz der Produktpartikel im Luftstrom zu wählen.

Zu Beginn der Studie wurde als Anfangsparameter angenommen, dass das Gerät nach dem Prinzip des pneumatischen Düsensystems arbeitet und einen direkten Kontakt für den Luftstrom mit dem Schüttgut herstellt. Arbeitsschritte zum Erstellen eines Modells sind in Abb. 8 dargestellt.

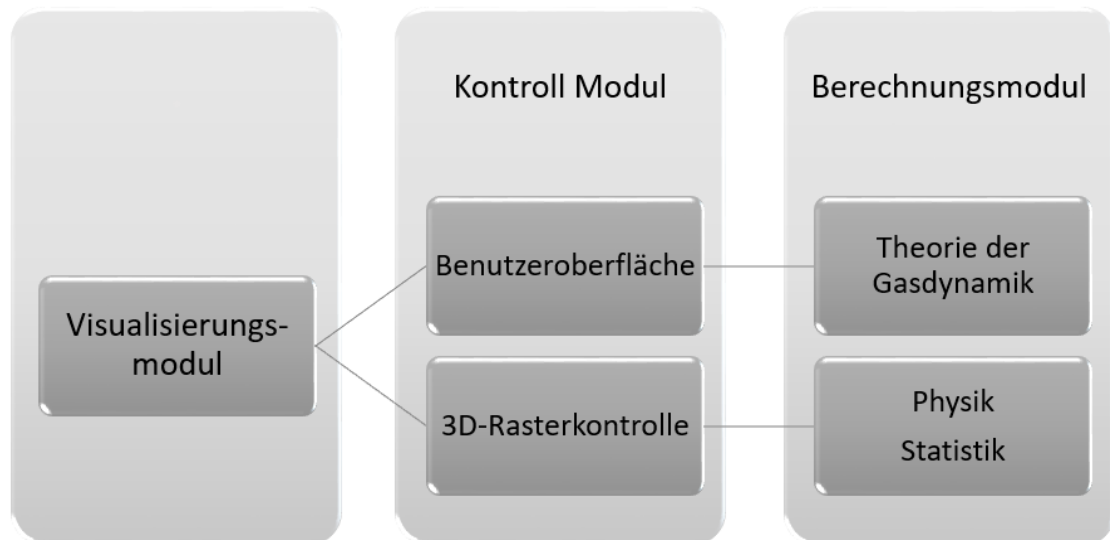


Abbildung 8. Schritt-für-Schritt-Erstellung eines Simulationsmodells einer pneumatischen Vorrichtung zur Vernichtung eines Schüttguts in einem Trichter

Die Analyse bestehender Softwarepakete zur Modellierung der Dynamik von Luftströmungen zeigte, dass sie auf Standardmethoden der numerischen Hydrodynamik basieren: Finite-Elemente-Methode für inkompressible Flüssigkeiten und Methoden zur Integration von Navier-Stokes-Gleichungen für viskose inkompressible Flüssigkeiten. Fig. 9 zeigt ein Diagramm des Einsatzes von

Softwaremodulen, die von einer spezialisierten Subroutine entwickelt wurden, die auf dem Softwarepaket "ANSYS" basiert, das für die Modellierung der Dynamik von Luftgeräten am besten geeignet ist.[373, S.1933]

Die experimentellen Studien bieten die Möglichkeit, empirische Muster des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Eigenschaften des Arbeitsablaufs zu erhalten. Die verfügbaren Daten erlauben jedoch keine detaillierte Analyse des Verhaltens von Druckluft an schwer zugänglichen Stellen der Konstruktion von pneumatischen Düsensystemen zur Zerstörung von Gewölben sowie zum Zeitpunkt der Wechselwirkung des Luftstroms mit dem Produkt im Inneren Transport in geschlossenen Pipelines.

CFD-Methode (Computational Fluid Dynamics, CFD) - eine Einheit der Mechanik kontinuierlicher Medien, die eine Reihe physikalischer, mathematischer und numerischer Methoden zur Berechnung der Eigenschaften von Strömungsprozessen umfasst.

In Abb.9. ein Computer-CFD-Modell des Luftgeschwindigkeitsgradientenfeldes ist gezeigt.

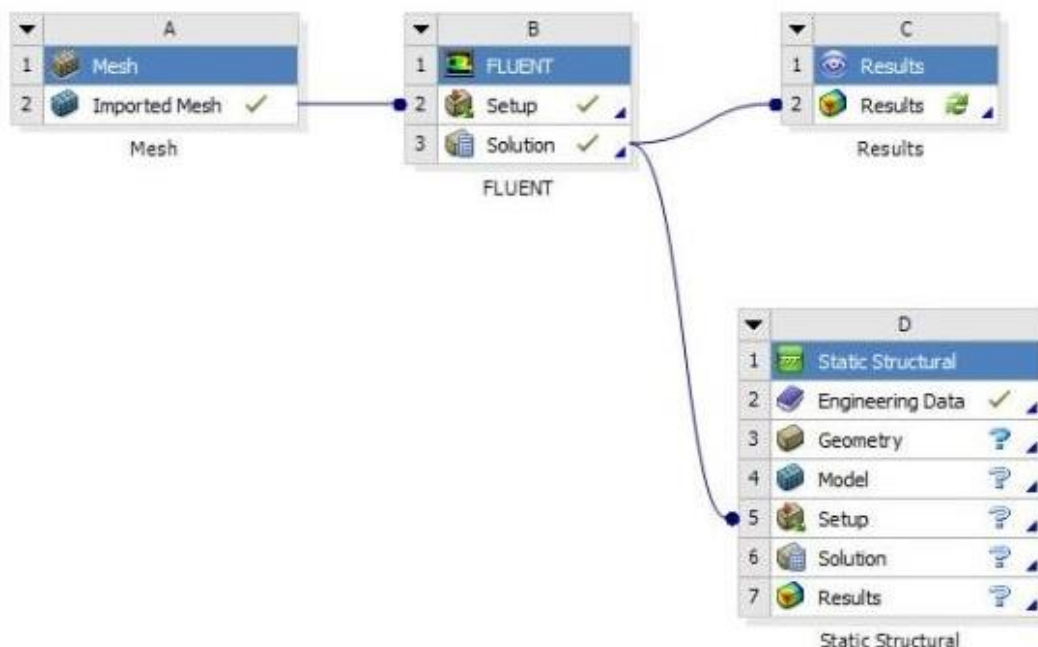


Abbildung.9. Bereitstellungsdiagramm von Softwaremodulen

Im Softwarepaket ist es möglich, den Partikeltyp für die Modellierung von Schüttgütern auszuwählen. Das Schema zur Anwendung des Berechnungsrasters wird auf der Grundlage der integrierten Funktionen ausgewählt, Abb.10., Abb.11.

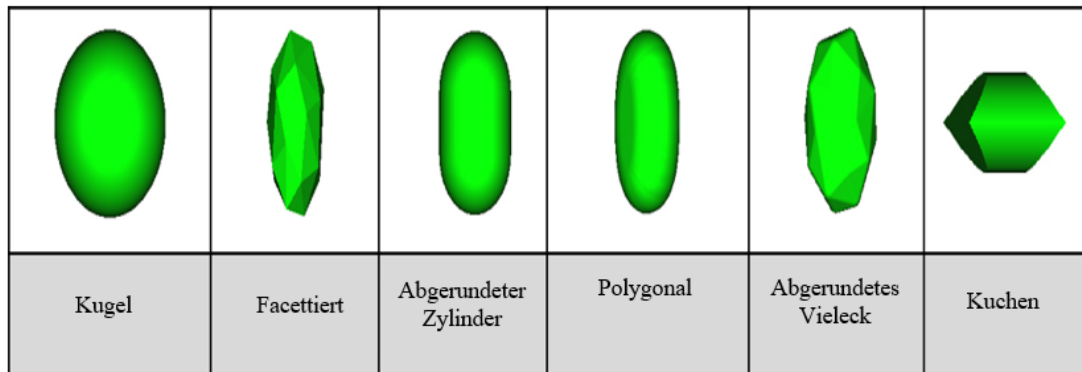


Abbildung 10. Teilchen in der Geometrie

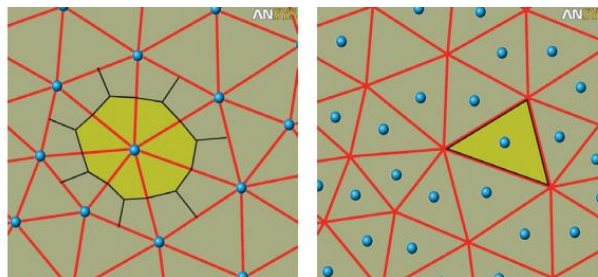


Abbildung 11. Kontrollvolumenschema, zentriert auf dem Knoten – CFX (links) und zentriert auf der Zelle – Fluent (rechts).

Durch den Einsatz von hochwertigen Sechseckgittern bei der Simulation der Strömung in den strömenden Teilen von Turbomaschinen kann die Genauigkeit und Effizienz von Berechnungen deutlich gesteigert werden. Sechseckiges Gitter ist in Bezug auf Rechenressourcen viel sparsamer als tetraedrisches Gitter. Und die Struktur der Gitterlinien ist normalerweise so, dass sie entlang der Stromlinien gerichtet sind, was den Fehler beim Abtasten der Gleichungen reduziert.[374, S.544]

Zur Lösung der Probleme wurde ein mathematisches Modell basierend auf der kombinierten Lagrange-Euler-Methode in hochenthalpieartiger Luftströmung verwendet. Die Option, wenn die Gasphase ein Gemisch aus Luft und Produkten ist, wird zur Erwägung ausgewählt. Die chemische Wechselwirkung wird durch einen irreversiblen Prozess akzeptiert und verläuft nach dem Schema "Luft → Produkte". Da die für die berechnete parametrische Studie ausgewählte Pipeline eine asymmetrische Konfiguration hat, wurde bei der Modellierung der Eigenschaften der Gasphase ein

System von Gleichungen für Kontinuität, Impulserhaltung und Energie verwendet, die in Zylinderkoordinaten geschrieben sind:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{\partial(A-R)}{\partial x} + \frac{\partial(B-X)}{\partial r} + \frac{F}{r} = S;$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho w \\ \rho v \\ e \\ \rho Y_{pr} \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} \rho w \\ p + \rho w^2 \\ \rho w v \\ (e+p)w \\ \rho Y_{pr} w \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho w v \\ p + \rho v^2 \\ (e+p)v \\ \rho Y_{pr} v \end{bmatrix}; \quad R = \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xx} \\ \tau_{xr} \\ w\tau_{xx} + v\tau_{xr} + q_x \\ \rho D \frac{\partial Y_{pr}}{\partial x} \end{bmatrix};$$

$$X = \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xx} \\ \tau_{xr} \\ w\tau_{xx} + v\tau_{xr} + q_r \\ \rho D \frac{\partial Y_{pr}}{\partial r} \end{bmatrix}; \quad F = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho w v - \tau_{xr} \\ \rho v^2 - \tau_{rr} + \tau_{\theta\theta} \\ (e+p)v - w\tau_{xr} - q_r \\ \rho Y_{pr} v - \rho D \frac{\partial Y_{pr}}{\partial r} \end{bmatrix}; \quad S = \begin{bmatrix} S_p \\ S_w \\ S_v \\ S_e \\ S_{pr} \end{bmatrix}$$

Hier t ist Zeit; x, r - axiale und radiale Koordinaten; ρ - Dichte des Gases; w, v - axiale und radiale Komponenten der Gasgeschwindigkeit; $e = \frac{p}{k+1} + \frac{\rho(w^2+v^2)}{2}$ - Gesamtenergie pro Gasvolumeneinheit (wobei k der adiabatische Index ist); Y_{ps} - Massenanteil von Produkten; p ist der Gasdruck; $\tau_{xx}, \tau_{rr}, \tau_{\theta\theta}, \tau_{xr} = \tau_{rx}$ viskose Spannungen für den Gasfluss; q_r, q_x - Luftströme in axialer und radialer Richtung; D der Diffusionskoeffizient ist; S_w, S_v, S_r, S_{ps} - Komponenten, die die Wirkung von Bewegung, Flug von Partikeln der dispergierten Phase auf den Gasstrom beschreiben. Es wird angenommen, dass die Massenkonzentration von Luft gleich $Y_B = 1 - Y_{ps}$ ist. Das System wird durch die Zustandsgleichung einer Mischung aus idealen Gasen und einem Einparametermodell der Turbulenz geschlossen.

Es ergeben sich Ergebnisse experimenteller Forschungen, die theoretische Forschungen bestätigen. Die erhaltenen Ergebnisse ermöglichen Vergleiche mit bestehenden Analoga des entworfenen Geräts.

Untersuchungsgegenstand war eine pneumatische Düsenvorrichtung mit Membranventil. Bei der Erstellung eines parametrischen Modells des Betriebsprozesses der Vorrichtung für mehrkomponentige Lebensmittel-Massenmischungen, Abb. 12, wird das ANSYS-Paket verwendet.

Das Design des konischen Trichters der Zuführung, gezeigt in Abb. 13. Der moderne Ansatz zur Schaffung von pneumatischen Transporteinheiten, die in nicht standardmäßigen Modi der Luftgemischausbewegung arbeiten, basiert auf Untersuchungen der Phasenzustände und Übergänge des Luftgemischs, der Bedingungen ihrer Bildung und Erhaltung in verschiedenen Abschnitten der Transportleitung [372, S.250].

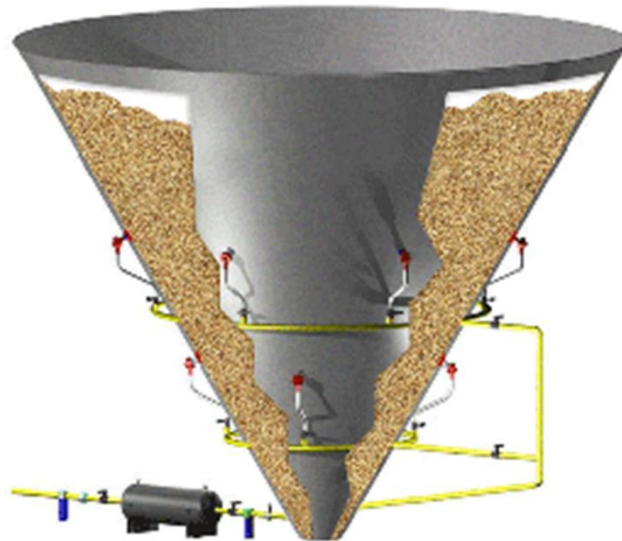
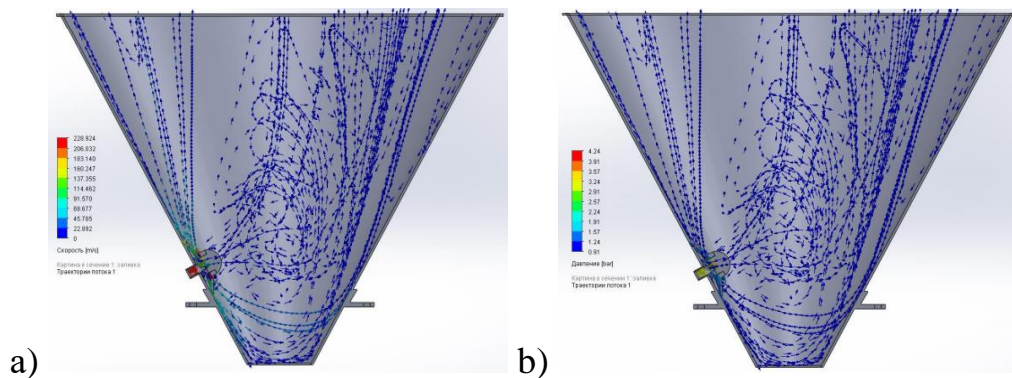


Abbildung.12. Verallgemeinertes 3D-Modell des Vernichtungsprozesses bei der Lieferung von losen Lebensmitteln



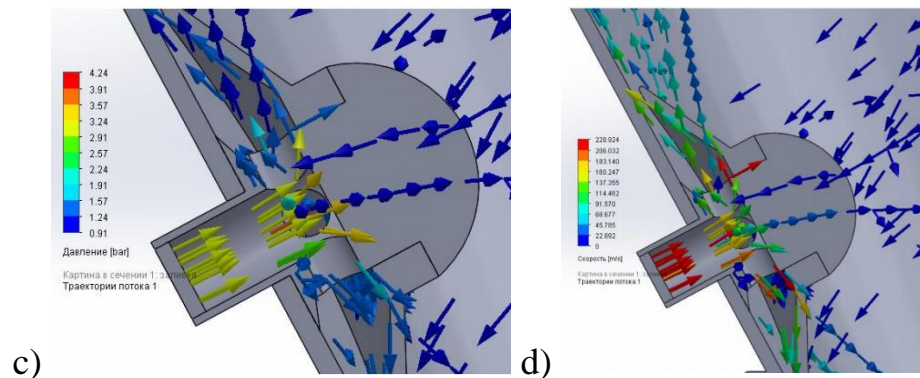


Abbildung 13. Ergebnisse von Studien zur Strömungsverteilung im Trichter: a) 3D-Schnitt des Trichters mit Darstellung der Strömungsgeschwindigkeit; b) 3D-Schnitt des Trichters mit Druckanzeige; c) 3D-Schnitt des Düsensystems mit der Darstellung der Druckverteilung; d) 3D-Schnitt des Düsensystems mit der Spiegelung der Strömungsgeschwindigkeit.

Die Ergebnisse der Untersuchung des elektropneumatischen Ventils in der Zusammensetzung des pneumatischen Düsensystems mit der Vorrichtung zur Zerstörung des Gewölbes (bei einer Kanallänge von 0,6m): Die Luftströmungsgeschwindigkeit am Auslass der Düse beträgt 260 m/s . Im Bereich von 2 bis 7 bar erfolgt eine stufenweise Druckänderung; - am Auslass des Ventils gibt es eine deutliche Turbulenz der Strömung und es gibt einen Übergang zum überkritischen Bewegungsmodus des gasförmigen Mediums, der einen ausreichend vollständigen Impuls für die Zerstörung liefert; - die Ergebnisse, die bei der Verarbeitung der Trendlinie in der Software Excel Polynomnäherung innerhalb von $R^2 = 0,95 \dots 0,96$ erhalten wurden, was die Angemessenheit des erstellten Modells anzeigt. Anhand der Ergebnisse von Studien des pneumatischen Düsensystems bauen wir ein Modell auf und untersuchen den Prozess der Leckage und Ausbreitung von Strömungen im Trichter. [375, S.453]

Abbildung 14 zeigt deutlich die Verteilung der linearen Geschwindigkeit des kleinen künstlichen Produkts, wenn es sich unter Druck im Kanal der Produktleitung bewegt.

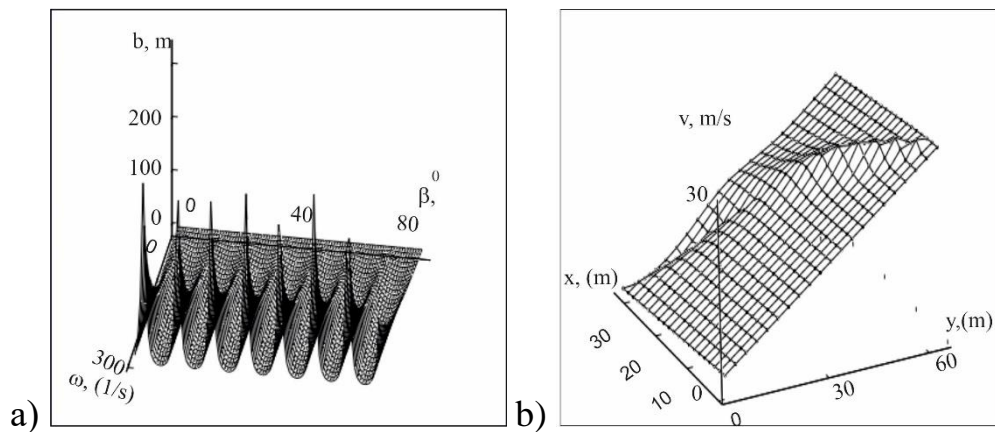


Abbildung 14. Kinematische Parameter des Transports von kleinteiligen Produkten in verschiedenen Bereichen des pneumatischen Transports: a - Änderung der Winkelgeschwindigkeit ω der Partikelbewegung nach Kontakt mit der Wand der Produktleitung; b - Änderung der linearen Geschwindigkeit des feinkörnigen Produkts v beim Bewegen im Kanal der Produktleitung unter Druck

Daten des Zustands des Gemischs aus Luftprodukt können aufgezeichnet und verwendet werden, um die Parameter des Ventils zu korrigieren.

Aus der Analyse der erhaltenen Ergebnisse können wir schließen, dass das ausgewählte Design die Verteilung des Luftstroms in den Bereichen der wahrscheinlichen Bildung von Krypten vorsieht, was deren Bildung verhindert oder die bereits gebildeten direkt zerstört. Die Ergebnisse bestätigen auch die Wirksamkeit von pneumatischen Düsensystemen zur Sicherstellung der Kontinuität beim Verpacken und Dosieren von losen Lebensmitteln.

Dies bestätigt die Ergebnisse der Modellierung [376, S.650] zum Einfluss lokaler Widerstände zur Erhöhung des spezifischen Druckverlustes. Zweck der physikalischen Modellierung ist die Bestimmung des Drucks im pneumatischen Transportkanal unter der Bedingung gepulster Druckluftzufuhr sowie die Abschätzung der Energiekosten.

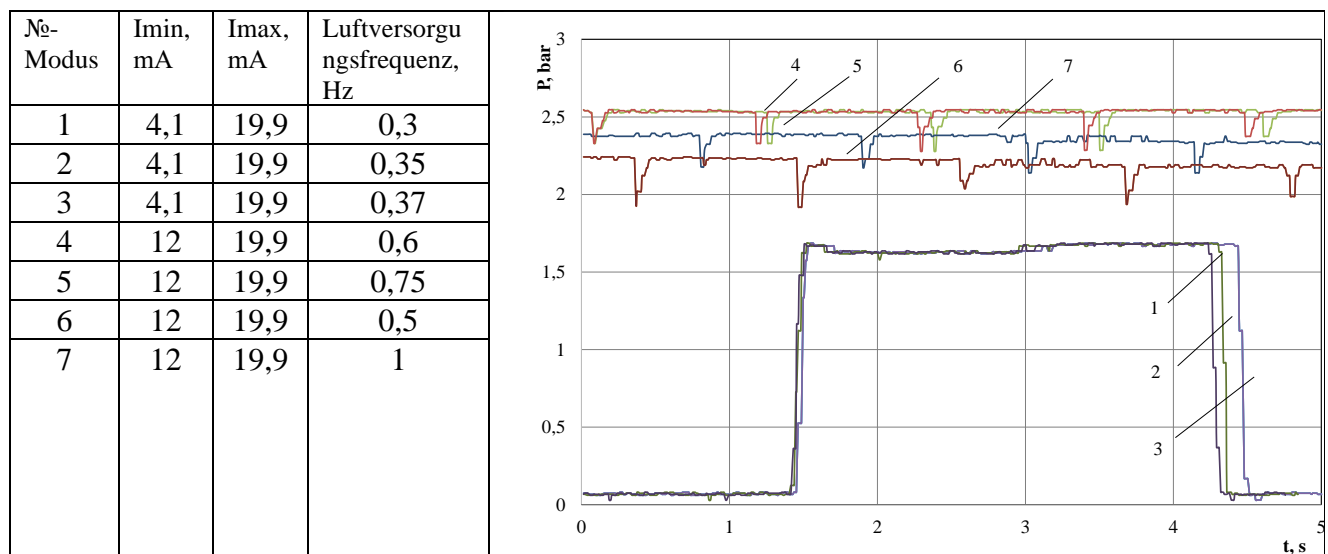
In Tabelle.1. es sind die ergebnisse der modellierung der modi beim pneumotransport des kleinteiligen produktes (getrocknete pfeffererbsen) in den arbeitskanal der rohrleitung des produktes mit verschiedenen bedingungen der bildung des impuls der zusammengesetzten luft gebracht. Dadurch ist es möglich, bei mathematischen Modellierungsproblemen die richtigen Druckänderungsbereiche

einzustellen. Der Einfluss von Druckluftdruckstörungen während des Betriebs der pneumatischen Produktlinie kann einen pseudostationären Modus bilden. Wenn die Kurven 1-3, Tabelle.1. beschreiben lange Zeitverzögerungen während der Zufuhr von Druckluft in den Kanal, mehr als 1 s. Dann kann im horizontalen Teil eine stilvolle Schicht untergeformt werden, der Transport ist kompliziert. Kurven 4-7, Tabelle. 3.1. mit Verzögerungsintervallen bis zu 0,2 s ermöglichen die Beschreibung der stationären Art der pneumatischen Förderung unter der Bedingung einer kontinuierlichen Injektion des Produkts. Die maximale Pulsfrequenz beim pneumatischen Transport lag bei bis zu 1,5 ... 20 Hz, bei Drücken bis 2,5 bar.

Die erhaltenen Simulationsergebnisse ermöglichen es, die Abhängigkeiten der wichtigsten kinematischen Parameter des Produkttransports durch mechanische und mathematische Untersuchungen zu beschreiben und den Druckabfall vorherzusagen

Zunächst wurden die Form des Arbeitskanals des pneumatischen Transports und der diametrale Abschnitt des Arbeitskanals berücksichtigt. Mit zunehmender Zeit der Druckluftzufuhr in die Produktleitung erreicht die Anzahl der Extrusionspartikel ein Maximum im Bereich von 0,1 ... 0,2 s (Tabelle 1). Diese Zahl variiert je nach Einstellung des Regelkreises (Tabelle 1). Die Ergebnisse bestätigen [374, S.544] die Möglichkeit, den optimalen Modus für den pneumatischen Transport des Produkts zu bilden.

Tabelle 1. Experimentelle Daten zur Druckänderung im Standkanal



Für einen stabilen Betrieb des pneumatischen Transports beträgt die empfohlene Gasgeschwindigkeit das 1,5- bis 2-fache der Auftriebsrate der Partikel des transportierten Materials (Tabelle 1).

Es wird festgestellt, dass die Schicht aus feinkörnigem Produkt, die den aufsteigenden Druckluftstrom durchdringt, sich in zwei qualitativ unterschiedlichen stationären Zuständen befinden kann. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit unter 5 m/s sind die Feststoffpartikel stationär. Der pneumatische Widerstand steigt mit zunehmender Geschwindigkeit auf 15-20 m/s - die Schicht wird gewogen, feste Partikel verlieren ihren früheren gegenseitigen Kontakt, können sich bewegen und mischen. Die Schicht dehnt sich aus, auf ihrer freien Oberfläche sieht man Wellen und Ausbrüche.

Die Analyse der Simulationsergebnisse zeigte, dass der gesamte Druckverlust in der Rohrleitung während des pneumatischen Transports besteht aus: Druckverlusten, die während der Bewegung sauberer Luft auftreten; zusätzliche Druckverluste, die während der Bewegung des Materials auftreten; Druckverluste auf der Stütze wird in hängender Position auf dem vertikalen Abschnitt transportiert; Druckverluste bei Beschleunigung des Transports von Partikeln bei ihrer Anziehung in der Transportleitung. Gleichzeitig ermöglicht der vorgeschlagene Ansatz, ähnliche Abhängigkeiten für andere Verkehrsträger zu erhalten.

Die Simulationsergebnisse zum Einfluss lokaler Widerstände auf die Erhöhung spezifischer Druckverluste werden durch Feldversuche bestätigt. Ein Versuchsstand mit einem auf PWM basierendem mechatronischen Steuerungssystem wurde modelliert und aufgebaut. Mittels physikalischer Modellierung wird bestimmt: Der Gasdruck im Strömungskanal für den Flüssiggaskanal ist vorzugsweise 0,1–2,0 bar höher als der Druck im Bypassrohr des komprimierten Gases; Transportgeschwindigkeit beträgt 2 bis 15 m/s; die zwischen dem Übertragungsgerät und dem Verbraucher eingestellten Werte des Druckabfalls liegen zwischen 1 und 20 bar; der Flussdichteindex liegt in Übereinstimmung mit den pneumatischen Systemen zwischen 10 und 200. Die physikalische Modellierung des Prozesses während des Pneumotransports wurde für kleinstückige Produkte mit den oben beschriebenen Betriebsbedingungen und

Produkteigenschaften durchgeführt. Es wurden physikalische und mathematische Modelle des Massentransfers von Schüttgütern unter strukturierten Moden der Luftgemischbewegung entwickelt. Es wird nachgewiesen, dass die Verbesserung der technischen Kennwerte des pneumatischen Transports durch die Intensivierung des Stofftransports durch die Verwendung von Wellen- und Batch-Modi der Luftgemischbewegung erreicht wird, für die der Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten des Lagers und der Lagerkomponenten minimal ist. Das mathematische Modell umfasst Differentialgleichungen der Bewegung für einzelne Partikel in der Strömung sowie deren geschätztes Verhalten nach Kollision mit der Innenfläche der Produktleitung und Änderungen ihrer kinematischen Eigenschaften. Die Randbedingungen berücksichtigen den Einfluss der pneumatischen Transportmittel und der Geometrie der Produktleitung. Der Prozess der Steuerung kritischer Moden beim Pneumotransport auf der Grundlage von proportionalen Elementen und Rückkopplungen wird theoretisch untersucht; Untersuchung des Zerstörungsprozesses der Produktcluster durch Luftwellen und kontrollierte Dekompression. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Verwendung des entwickelten Modells es ermöglicht, die Geschwindigkeit zu berücksichtigen und den Druck am Einlass der Produktleitung zu steuern.

8.3 Nanotechnologies for creating innovative textile materials with special properties

8.3.1 Методи поверхневої нанообробки текстильних матеріалів

Основним напрямом розширення та поліпшення асортименту хімічних текстильних матеріалів є не скільки розробка нових видів полімерів, скільки модифікація вже існуючих текстильних волокон з метою надання їм нових, не характерних для вихідних матеріалів, властивостей [377–380].

Модифікація – це спрямована зміна текстильних волокон та ниток з метою надання їм нових наперед заданих властивостей. Усі методи модифікації можна поділити на кілька основних груп:

- фізична модифікація полягає у спрямованій зміні надмолекулярної будови, форми та зовнішньої поверхні ниток (без зміни хімічного складу). Фізичні методи використовуються на стадії формування та/або подальшої обробки волокон;

- композитна модифікація полягає у додаванні до основного волокноутворюючого полімеру дрібнодисперсних або розчинних компонентів – носіїв нових властивостей. Модифікація шляхом залучення добавок здійснюється на стадії підготовки вихідного розплаву (розчину) до формування або безпосередньо перед формуванням волокон [378];

- хімічна модифікація полягає у спрямованій зміні хімічного складу волокноутворюючого полімеру, при якій відбувається або зміна хімічної будови волокноутворюючих полімерів шляхом введення функціональних груп у вихідний полімер, або при обробці готових волокон до їх переробки у вироби, а також при обробці готових текстильних матеріалів або виробів.

Розглядаючи проблему хімічної модифікації волокон, слід виділити два основні напрямки:

- обмежена модифікація з метою поліпшення окремих функціональних властивостей при незначному зниженні фізико-механічних властивостей або навіть їх збереженні практично незмінними;

- "глибока" модифікація з метою зміни всього комплексу функціональних властивостей волокон або надання їм принципово нових специфічних властивостей. При цьому багато фізико-механічних характеристик волокон змінюються дуже істотно, по суті, утворюються нові волокна [380].

Можливе застосування комбінованих методів модифікації. Часто використовується поєднання фізичного з композитною чи хімічною модифікацією. Комбінація методів композитної та хімічної модифікації застосовується рідко, тому що в обох методах змінюється хімічний (або композитний) склад волокон.

Хімічні обробки свіжосформованих та готових багатотоннажних видів волокон текстильного та технічного призначення застосовуються відносно мало, тому що при цьому суттєво ускладнюється технологія їх виробництва. В даному випадку, як правило, потрібна установка додаткового обладнання, виникає необхідність у процесах промивання та рециклінгу робочих розчинів, утворюються небажані викиди – стічні води, що в сукупності в умовах багатотоннажних виробництв призводить до складних технологічних та екологічних проблем. Необхідно зауважити, що методи хімічного модифікування (полімер аналогічних перетворень, процесів полімеризації) для повноти перебігу реакцій вимагають значного часу, що також ускладнює їх включення в технологічний процес.

З вищевказаних причин проведення хімічної модифікації часто є кращим на стадії обробки текстильних полотен. Хімічна модифікація полотен широко використовується практично як для полотен на основі хімічних волокон, так і з природних волокон або їх сумішей. Воно проводиться із застосуванням різних реагентів і методів [377–387].

В даний час у текстильній промисловості впроваджується заключне оздоблення текстильних виробів з використанням нанотехнологій. При заключній обробці використовують наночастинки різних речовин у вигляді наноемульсій і нанодисперсій. Нанотехнологічний вплив не зачіпає макроструктури і нові властивості з'являються на мікрорівні. Нанотехнології

передбачають використання частинок речовини або структур речовини, що мають розміри менше 100 нм і суттєво впливають на ефективність одержуваних результатів.

Актуальні області застосування нанотехнологій в текстильній промисловості можна розділити на три групи: поліпшення властивостей матеріалів за допомогою нанопрепаратів і нанопокриттів [377, 378], фізична та хімічна модифікація поверхні текстильних матеріалів [378, 379], вбудовування в них електронних компонентів та мікроелектромеханічних систем [380].

Застосування нанотехнологій у текстильній галузі базується на їх ефективному впровадженні у: виробництві нановолокон [382, 383] та нанообробці, що дозволяє текстильним матеріалам ставати багатофункціональними та отримувати якісно нові властивості [385–388].

У структуру будь-якого хімічного волокна на стадії приготування розчину або розплаву волокноутворюючого полімеру вводять частинки наповнювача, що мають розміри в нанометровому діапазоні (рис. 1).

Перспективним напрямком в області нанотехнологій є технологія електроформування нановолокон з розчинів полімерів [386–391]. Електроформування волокон – безфільєрний сухий метод, в якому всі процеси формування волокнистого шару здійснюються виключно за допомогою електростатичних сил.

У залежності від хімічної природи наночастинок наповнювача, можна отримувати волокна з різними функціональними властивостями [392–396] (висока механічна міцність, електропровідність, фотоактивність, антимікробні, сенсорні властивості, чутливість до зміни температури і т. д). На основі цього визначаються і потенційні сфери застосування: потреби силових структур, спорт, медицина, домашній текстиль, одяг.



Рисунок 1. Нанооб'єкти нанотехнологій – наночастинки, нановолокна, нанопласти. Нанорозмір: від 1 до 100 нм [396].

Крім цього, надання текстильним матеріалам спеціальних властивостей може здійснюватися шляхом нанесення нанопрепаратів або нанопокриттів на поверхню матеріалів. Тому справедливо вважати, що колорування та заключне опорядження текстильних матеріалів є важливими областями використання нанотехнологій в текстильній промисловості [397–401].

Нові методи поверхневої нанообробки тканин дозволяють покращити функціональність матеріалів і підвищити довговічність покриття у порівнянні з традиційними способами обробки. Ці методи включають в себе іммобілізацію функціональних речовин [402], технологію «Layer-by-Layer» (LbL) (метод пошарової самозбірки) [403], нанопокриття [378], мікрокапсулювання [404] і використання високовартісної плазми для осадження функціональних молекул [405]. Перелічені методи відрізняються від звичайних покриттів тим, що надають особливі функціональні можливості текстильним поверхням шляхом досягнення змін в мікро- або нанорівні, не змінюючи об'ємні властивості, покращуючи функціональність з мінімальним впливом на фізико-механічні властивості текстильних матеріалів.

Поліелектролітні багатшарові покриття, що стали новим способом функціоналізації поверхні із використанням методу «Layer-by-Layer», підходять для поверхневої обробки багатьох видів текстильних матеріалів. Механізм

отримання поліелектролітної плівки заснований на адсорбції протилежно заряджених поліелектролітів на поверхні матеріалу, шляхом занурення матеріалу в розчини поліелектролітів (рис. 2) [406]. Мікрокапсулювання – це сучасний технологічний процес, який широко використовується в різних промислових і наукових областях. Сутність мікрокапсулювання полягає в «оточенні» активної речовини (наприклад, репелента барвника, ароматизатора, протимікробного засобу, ферменту, антипирену) оболонкою для його стабілізації, довговічності, для захисту від впливу від навколишнього середовища, світла, кисню або інших реагентів [406]. У текстильній промисловості, цей економічно ефективний спосіб можна використовувати для нанесення різних функціональних агентів на тканину і досягти більш високої ефективності активних речовин для продовження терміну служби ароматів, збільшення часу захисного ефекту антимікробної обробки [406].

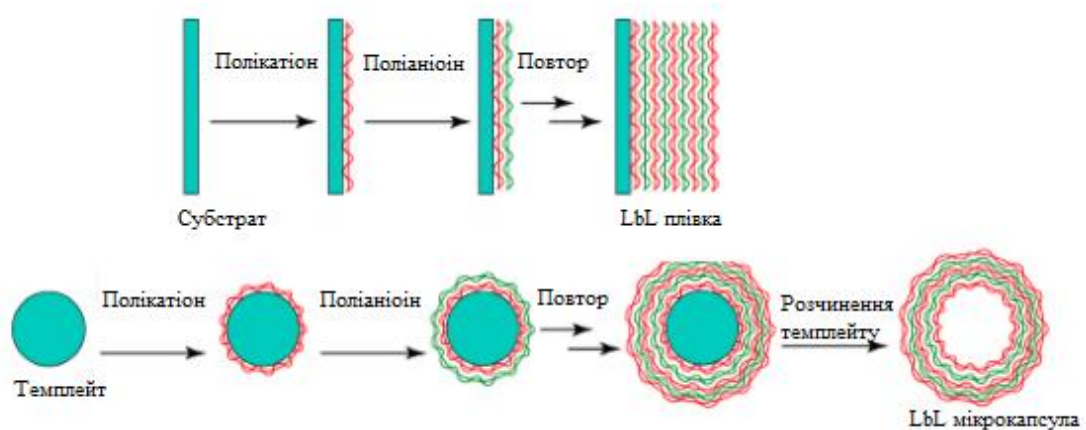


Рисунок 2. Схематичне отримання плівок та мікрокапсул із використанням методу «Layer-by-Layer».

У роботі [404] представлено екологічно безпечний спосіб репелентної обробки текстильних матеріалів, заснований на поєднанні прийомів методу «Layer-by-Layer» і мікроемульсійного капсулювання для іммобілізації акарицидно-репелентних речовин в структуру текстильного матеріалу, з метою отримання пролонгованого ефекту для захисту від комах, що характеризується великим числом стадій і тому програє за продуктивністю іншим, добре розробленим методам.

Нанесення різних функціональних наночастинок металів та їх оксидів на текстильні матеріали різного походження для надання спеціальних властивостей здійснюють різними методами [407–410]: методом апраєтування з подальшою сушкою та термофіксацією (рис. 3), ультразвуковим напиленням, методом електростатичної самозбірки (electrostatic self-assembly), за допомогою сітчастих шаблонів, прямим просочуванням, із застосуванням фотонних технологій, УФ-, ІЧ-, лазерної обробки, магнітним розпиленням, а також технікою Ленгмюра-Блоджет (формування моно- та мультимолекулярних плівок на поверхні твердої підложки).



Рисунок 3. Технологічна схема антимікробної обробки бавовняної тканини композицією на основі наночастинок міді та заліза [410].

Відома обробка волокон плазмовим розрядом [411], що призводить до щеплення функціональних груп на полімері. Дані методи відкривають великі можливості у модифікації текстильних матеріалів, але їх істотним недоліком є високі витрати, оскільки такі процеси вимагають спеціального дорогого обладнання та мають специфічні обмеження.

Розробка принципово нових підходів для створення покриттів, плівок є досить важливим і актуальним завданням. На даний момент на основі аналізу літературних даних перспективним методом отримання покриттів можна визнати золь-гель технологію [412, 413], що дозволяє створювати відтворювану, контрольовану і впорядковану структуру таких покриттів. Покриття нанорозчином дозволяє здійснювати модифікацію великого асортименту матеріалів з різною поверхнею. За рахунок такої обробки текстильних матеріалів, зокрема бавовняних, з використанням наночастинок металів, можливо надавати їм необхідних технічно цінних властивостей.

Способи отримання наночастинок металів сьогодні продовжують інтенсивно розвиватися. У даний час відомі два основних способи отримання нанорозмірних частинок [414–416]: 1) фізичний, який включає термічне випаровування наночастинок при обробці плазмою, лазером, електричною дугою; конденсацію вихідного матеріалу в вакуумі, механохімічне диспергування, електроерозію, літографію; 2) хімічний, який полягає в отриманні наночастинок металів методами термічного або радіаційного відновлення металомістких сполук, розкладання під впливом УФ, температури або синтезу в зворотних міцелах, на межі поділу фаз або золь-гель методом, стабілізацією у колоїдних нанореакторах, у якості яких використовують зворотні міцели, рідкі кристали, адсорбційні шари, плівки Ленгмюра-Блоджет, мікроемульсії (рис. 4).

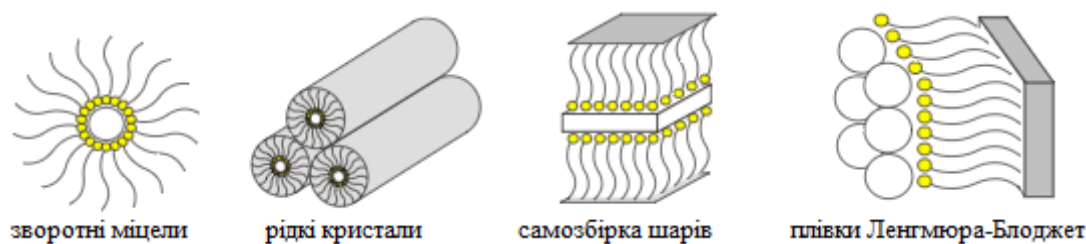


Рисунок 4. Види найбільш вживаних нанореакторів [414].

Структура наночастинок металів у значній мірі визначається методом їх отримання. За просторовою будовою відомі три основні класи наночастинок: тривимірні частинки, які одержують вибухом провідників, плазмовим синтезом, відновленням тонких плівок; двовимірні об'єкти – плівки, що отримуються методами молекулярного нашарування, методом іонного нашарування; одномірні об'єкти – нанотрубки, нановолокна, які отримують методом молекулярного нашарування, введенням речовин в циліндричні мікропори. Також існують нанокомпозити – матеріали, одержані введенням наночастинок у будь-які матриці. Наночастинки металів бувають різноманітної форми. У більшості випадків вони мають кристалічну структуру. Відкриття останнього десятиліття показали, що оптичні, каталітичні та антибактеріальні властивості наночастинок залежать від їх геометричної структури та морфології [415].

Ретельний контроль параметрів реакції, таких як час, температура процесу, швидкість перемішування, концентрація реагентів і стабілізуючих добавок дозволяють звузити розподіл частинок за розмірами [415]. Тому методи отримання наночастинок не можна відокремлювати від методів їх стабілізації. Один з найбільш перспективних методів отримання наноматеріалів зі стабільними властивостями є введення наночастинок в матриці різних типів [414, 415], у тому числі і на текстильній основі [416, 417].

Таким чином, створення наукомістких, ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій обробки на основі нанотехнологій є актуальною науковою задачею, вирішення якої має велике практичне значення. У зв'язку з появою нанорозмірних препаратів і унікальних наночастинок з особливими будовою та властивостями стає можливим вирішення актуальної проблеми – розроблення функціонального трикотажу із застосуванням нанообробки та поверхневої модифікації.

8.3.2 Технології отримання текстильних матеріалів з електропровідними характеристиками

На сучасному етапі розвитку текстильної промисловості кількісне зростання випуску продукції вже не є вичерпною характеристикою розвитку галузі. Основне завдання текстильного виробництва сьогодні – виробити більше продукції кращої якості з меншими витратами, освоїти виробництво нових видів текстильних матеріалів, зокрема, технічного призначення.

Оскільки важливою ланкою в технологічному процесі переробки волокон є опоряджувальне виробництво, то виникає необхідність створення прогресивної технології обробки, а також розробка принципово нових високопродуктивних технологічних процесів. Така постановка завдання пов'язана з тим, що хімічні волокна дуже неоднорідні за структурою і недостатньо гідрофільні, внаслідок чого виникає ряд проблем, пов'язаних з обробкою, як волокон, так і готових виробів. Крім того, якщо споживача більше турбує якість готових виробів, то виробник враховує ще й збільшення продуктивності, зменшення матеріало-,

енергомiсткостi технологiй, що застосовуються, i, як результат, зниження собiвартостi виробiв з подальшим отриманням бiльшого прибутку. Це дозволить останньому виробляти бiльш конкурентоспроможну продукцiю на свiтовому ринку.

Використання функцiональних наночастинок на стадiї виробництва хiмiчних волокон досить популярне, оскiльки дозволяє отримувати хiмiчнi волокна вже з бiоцидними властивостями пiд замовлення для вiдповiдного асортименту виробiв. Але ця технологiя, як i у випадку фарбування в масi i надання iнших властивостей хiмiчних волокон на стадiї їх виробництва, має свої обмеження i недолiки: при виробництвi великих партiй хiмiчних волокон з спецiальними властивостями у споживачiв звужуються можливостi їх споживання i використання; технологiя виробництва хiмiчних волокон з розчинiв i розплавiв вимагає стабiльностi будь-яких препаратiв, що вводяться, до температури (розплав) або хiмiчних реагентiв (розчин).

З огляду на ряд недолiкiв (сильна усадка, низька стiйкiсть до дiї свiтла i мiкроорганiзмiв, бляклiсть отримуваних забарвлень), перед виробником виникає безлiч проблем, вирiшення яких на сьогоднiшнiй день є актуальним у свiтi. Широко поширенi текстильнi вироби з натуральних волокон та їх сумiшей iз синтетичними волокнами: у даному випадку без поверхневого фарбування не обiйтися. Розширення сфер застосування традицiйних хiмiчних волокон здiйснюється шляхом їх модифiкацiї. Деякi методи модифiкацiї хiмiчних волокон вирiшуються хiмiчною технологiєю текстильних матерiалiв. У даний час набуває широкого застосування "технiчний текстиль" для вирiшення ряду технiчних проблем.

Електропровiднi волокнистi матерiали, якi є технiчним текстилем, отримують методом модифiкацiї хiмiчних волокон, наприклад, карбонiзацiєю вiскозних або полiакрилонiтрильних волокон. У залежностi вiд здатностi проводити, передавати та вiдводити електричний струм, хiмiчнi волокна можуть бути диелектриками з питомою провiднiстю менше – $1 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, напiвпровiдниками з питомою провiднiстю в межах – $1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, i

провідниками з питомою провідністю від $1 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ і більше [423, 424]. Серед широкого асортименту електропровідних хімічних волокнистих матеріалів (рис. 6) на особливу увагу заслуговують вуглецеві волокнисті матеріали (ВВМ), що мають унікальні фізико-механічні та електрофізичні властивості.



Рисунок 6. Класифікація електропровідних хімічних волокон [422].

Створені на зламі 50 – 60-х років минулого століття як матеріали майбутнього, вуглецеві волокна (ВВ) не втратили цього визначення і сьогодні. Виявляючи унікальні споживні властивості, вони знаходять застосування в найрізноманітніших галузях промисловості, техніки і науки. Усі вуглецеві волокна, без винятку, можна віднести до високотехнологічних матеріалів, що вимагають: 1) наукомісткої технології отримання; 2) значних обсягів фінансування розробки нових типів ВВ; 3) ретельного підбору, підготовки та контролю сировини; 4) застосування спеціальних технологічних прийомів і добавок на всіх стадіях процесу отримання і використання прогресивного обладнання, в якому розвиваються температури до $3000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вуглецеві волокна є продуктами з «надвластивостями». Це високочисті матеріали з вмістом вуглецю до 99,9 %, модулем пружності при розтягуванні до 450 ГПа (для волокон на основі рідкокристалічних пеків до 690 ГПа), міцністю

при розтягуванні до 4 ГПа, від'ємним коефіцієнтом термічного лінійного розширення, низькою щільністю (1,7 – 2,0 г/см), що володіють як напівпровідниковою, так і металевою провідністю, здатні експлуатуватися в окислювальній атмосфері при високих температурах [422, 423].

Вуглецеві волокна отримують на основі віскозних і поліакрилонітрильних волокон. При високотемпературних обробках цих волокон відбувається повна зміна структури полімеру. Використовуючи вихідні волокна з різною структурою і властивостями отримують різні види вуглецевих карбонізованих і графітованих волокон: електропровідних, термо- і жаростійких стійких [422, 423].

Технологічний процес отримання ВВМ включає формування вихідних волокон на основі гідратцелюлози та сополімерів акрилонітрилу, їх підготовку, обробку і три стадії термічної обробки (рис. 7) [422, 423].

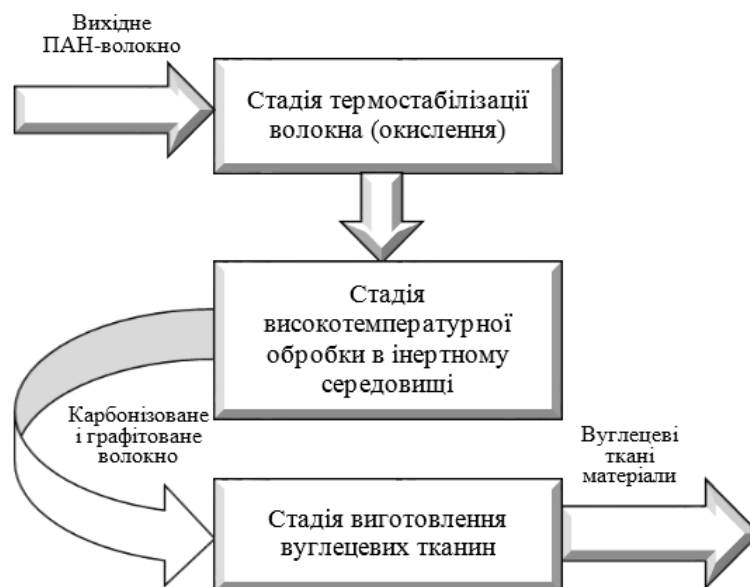


Рисунок 7. Принципова схема виробництва ВВМ.

Нові напрямки при отриманні ВВ в країнах СНД тісно пов'язані з шляхами зниження їх собівартості. У країнах Європи з добре розвинуеною ринковою економікою висока технічна і соціальна ефективність застосування вуглецевих волокон перебиває зростання витрат на їх виробництво. Незважаючи на цінні

властивості, поширення вуглецевих волокон стримується саме їх високою вартістю [422].

Ведеться розробка технологій і обладнання для виробництва вуглецевих волокнистих нетканих матеріалів (ВВНМ) і вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів (ВВКМ) (рис. 8) багатофункціонального призначення за багат шаровим способом отримання на основі гідратцелюлозного волокна (ГЦВ) [424, 425].

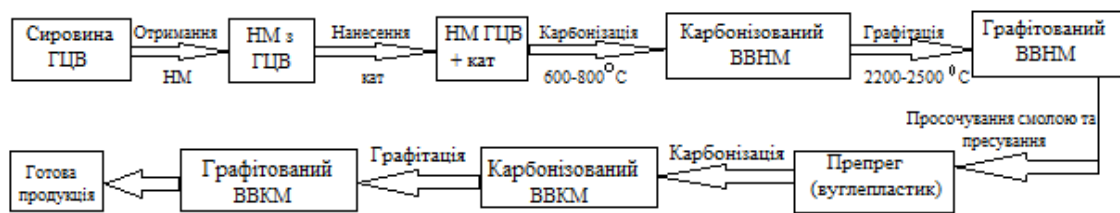


Рисунок 8. Принципова технологічна схема виготовлення ВВКМ за [425].

Найбільш перспективною щодо відповідності усім критеріям для композитів теплозахисної спрямованості була обрана вуглецева група, а саме вуглець-вуглецеві композиційні матеріали. У якості сировини використовувалися вуглецевий нетканий матеріал (НМ) (питомий поверхневий електричний опір становить не більше 1000 Ом), і тканини вуглецеві технічні виробництва ВАТ «Світлогорськ-Хімволокно» (питомий поверхневий опір яких становить не більше 0,3 Ом).

У промисловому виробництві ВВКМ особливого значення набувають такі параметри як базова функціональність, час, температурні режими (графітація при 600 – 800 °С, карбонізація при 2200 – 2500 °С) та інші ресурси, витрачені на створення готової продукції. На підставі наведених даних собівартість і ринкова вартість ВВКМ як споживчого продукту становить від 3200 до 9800 умовних одиниць за 1 кг ВВКМ.

Широко застосованими електропровідними матеріалами є матеріали з струмопровідними наповнювачами. Серед електропровідних наповнювачів переважають вуглецеві матеріали: технічний вуглець, графіт і вуглецеві волокна,

які давно відомі і застосовуються у якості електропровідних наповнювачів для полімерної матриці текстильних волокон [426, 427]. У якості синтетичних волокнистих матеріалів, в основному, викокристовуються поліпропіленові волокна. Такі цінні якості поліпропіленових волокон, наповнених електропровідними частинками вуглецю, як мала їх густина, хімічна стійкість, еластичність і можливість регулювання електричного опору в широких діапазонах (від 10 до 0,1 Ом/м) дозволить їм успішно конкурувати з металевими провідниками електричного струму. Електропровідність одержуваних таким чином електропровідних композиційних волокон визначається структурою полімеру, електричними властивостями, концентрацією і дисперсністю наповнювача, способом його введення в полімер [427]. Введення значної кількості наповнювача призводить до погіршення фізико-механічних властивостей волокна, тому важливим є досягнення високої провідності при мінімальному вмісті наповнювача. У разі використання порошків металів необхідні їх високий вміст у полімері і спеціальні прийоми для забезпечення антистатичних властивостей матеріалу [427].

Особливий інтерес для виготовлення електропровідних виробів представляють металізовані волокна, що мають на поверхні тонкий (до 1 мкм) шар металу (Сi, Ni, Fe). Ці волокна володіють круговим покриттям по діаметру волокна, однорідністю, суцільністю покриття і мають гарну адгезію до підкладки [428, 429]. Таким вимогам можуть відповідати металізовані тонкі (7 – 10 мкм) скляні волокна. Проте у даний час промисловістю випускаються тільки алюмінієві скляні волокна (10 – 20 мкм), на основі яких виготовляють дипольні відбивачі. З усіх відомих фізичних і хімічних способів отримання металізованих волокон найбільш вживаним є метод осадження металу з розчинів (хімічна металізація), що широко застосовується для металізації пластмас, проте, для створення тонкого шару міді на поверхні скляних волокон, необхідним є введення спеціальних добавок в розчини металізації [428].

Розглядаються можливості створення металізованих покриттів на натуральних текстильних матеріалах з використанням вакуумного осадження з

утворенням електропровідного шару на гладкій поверхні (рис. 9) [429], що вимагає спеціального апаратурного оформлення.

Таким чином, надзвичайно складна технологія отримання та висока собівартість вуглецевих та металізованих волокон стимулює до пошуку принципів і шляхів створення нових текстильних матеріалів.

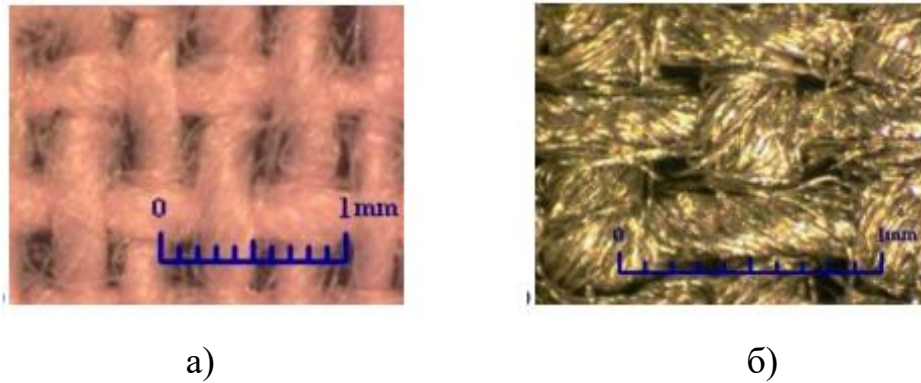


Рисунок 9. Текстильний матеріал на основі бавовняних волокон без покриття (а), пряжа бавовняна з металізованим покриттям (б).

У даний час великий інтерес представляють полімерні барвники зі спряженими подвійними зв'язками. До таких полімерів прикута велика увага, що пов'язано з їх фізико-хімічними властивостями і перспективами практичного використання [430, 431]. У роботі [431], що при певних умовах спряжені полімери можуть мати провідність, близьку до металевої, унікальні магнітні та оптичні властивості.

Перспективним є створення електропровідних композитів на основі провідних полімерів і попередньо сформованих неструмопровідних полімерних матриць (плівок, волокон) [432, 433]. Основним напрямом отримання електропровідних текстильних матеріалів за рахунок використання полімерів зі спряженими подвійними зв'язками є формування нанорозмірних частинок поліаніліну, при осадженні яких на поверхні текстильного матеріалу, утворюються наноструктури електропровідного шару, стійкі до дії зовнішніх впливів. У роботах [58–60] обґрунтовано використання гетерокоагуляційного механізму обробки текстильних матеріалів при синтезі наночастинок поліаніліну в присутності поверхнево-активних речовин (ПАР).

Таким чином, існує гостра необхідність у створенні текстильних матеріалів спеціального призначення за розробленими економічно-вигідними, ресурсощадними та екологічно-безпечними технологіями виробництва на Вітчизняних текстильних підприємствах, забезпечуючи потреби споживачів якісними товарами технічного асортименту.

8.3.3 Нанообробка текстильних матеріалів, модифікованих функціональними наночастинками, із застосуванням золь-гель технології

Перспективними дослідженнями в області хімічної модифікації властивостей є розробка нанотехнологій створення нових функціональних текстильних матеріалів спеціального призначення, що можуть використовуватися для засобів індивідуального захисту військовослужбовців, цивільного населення, для спеціального одягу, стійкого до агресивних середовищ та інше.

Останнім часом для надання спеціальних властивостей текстильним матеріалам різного сировинного складу використовуються фотонні технології, УФ-, ІЧ-, лазерна обробка, обробка плазмовим розрядом. Перелічені методи відкривають великі можливості у модифікації текстильних матеріалів, але їх значним і суттєвим недоліком є високі витрати, оскільки такі процеси вимагають високовартісного устаткування і мають специфічні обмеження. Виходячи з цього, актуальним є вирішення важливого наукового завдання – розробка нанотехнології отримання недорогих, але ефективних і зручних при використанні текстильних матеріалів зі спеціальними властивостями. Перспективним методом нанообробки текстильних матеріалів, модифікованих функціональними наночастинками, є золь-гель технологія [437, 438]. Запропонована технологія являє собою новий спосіб нанообробки – поверхневу модифікацію текстильних матеріалів шляхом обробки в рідкофазних системах – золях, що сприяє закріпленню й фіксації наночастинок на їх поверхні з отриманням покриттів, стійких до зовнішніх впливів.

Розміри частинок на поверхні текстильного матеріалу, а також морфологію зразків характеризували за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM) на растровому електронному мікроскопі «MIRA 3 LMU, Tescan» з дозволом ± 1 нм і енергодисперсійної спектроскопії (EDX) з хімічним аналізом Oxford X - MAX 80 мм² з невизначеністю приладу $\pm 1\%$. Для нанобробки трикотажних полотен застосовували класичні методи опорядження текстильних матеріалів. В якості текстильних матеріалів використовували целюлозні текстильні матеріали у вигляді трикотажних полотен з переплетенням гладь, що отримані на основі бавовняної нитки.

У роботі застосовано новий підхід нанобробки текстильних матеріалів – створення магнітних покриттів шляхом поверхневої модифікації на основі золь-гель методу з високоефективним захистом від електромагнітного випромінювання. Для модифікування целюлозних текстильних матеріалів, були розроблені різні оброблювальні склади, що містять водні розчини залізо-оксидних сполук з різними концентраціями сульфату та хлориду заліза: склад № 1 – 20 г/л, склад № 2 – 30 г/л, склад № 3 – 40 г/л, склад № 4 – 50 г/л, склад № 5 – 60 г/л, склад № 6 – 70 г/л. Нанобробку текстильних матеріалів неорганічними наночастинками проводили звичайним зануренням бавовняних трикотажних полотен в залізо-оксидний золь з наступною термофіксацією при підвищеній температурі. Обробку зразків бавовняних трикотажних полотен золь-гель композицією здійснювали на лабораторній двохвальній плюсовці з 90 % віджимом, потім висушували при 80 – 90 °С впродовж 8 – 10 хвилин. Термообробка оброблених зразків відбувалася при 100, 125, 150 °С по 2 хвилини. Після сушіння і термообробки оброблені зразки промивали в дистильованій воді і знову висушували при кімнатній температурі.

Збільшення вмісту наноструктурного магнетиту в золь-гель розчинах різного складу сприяло появі і підвищенню намагніченості насичення, що характеризує набуття магнітних властивостей текстильними матеріалами від 4 до 12 А·м²/кг. Отримані нанозольні покриття з частинками залізо-оксидних сполук розміром менше 100 нм. Запропонований золь-гель метод для

опорядження текстильних матеріалів забезпечує формування частинок малого розміру (65 ± 12 нм) з товщиною шару покриття близько 90 нм. Дослідження елементного складу і структури поверхні обробленого бавовняного трикотажного полотна показало, що зразок має гладку поверхню і відрізняється однорідною структурою, а сам текстильний матеріал містить основні елементи молекули целюлози.

За рахунок такого технічного рішення можливою є розробка функціонального трикотажу, суттєво покращуються техніко-економічні показники готової продукції, а також знижуються технологічні витрати та собівартість текстильного матеріалу спеціального призначення. Переваги розробленого способу полягають у його універсальності, доступності і простоті виконанні з одночасним забезпеченням спеціальних властивостей текстильному матеріалу, що не вимагає додаткових обробок плазмою, проведення попередніх модифікацій поверхні текстильного матеріалу та наявності спеціального обладнання опоряджувального виробництва у процесі виготовлення.

Таким чином, розроблено функціональний трикотаж з використанням нанообробки та поверхневої модифікації на основі золь-гель синтезу залізо-оксидних сполук, що забезпечують рівномірний розподіл і стійке покриття із частинок наномагнетиту на поверхні целюлозного трикотажного полотна, розмір яких варіюється в межах до 100 нм. Із застосуванням СЕМ проведено аналіз елементного складу і досліджена морфологія утворених покриттів. Встановлено, що використання різного співвідношення солей заліза в нанозолі впливає на різне закріплення частинок залізооксидних сполук на поверхні трикотажу і, як наслідок, на зміну намагніченості насичення від 4 до 12 А·м²/кг.

Передбачається ефективність застосування оброблених зразків в якості текстильного екрану для захисту від електромагнітного випромінювання. Механізм втрати мікрохвильової енергії в матеріалі є результатом його діелектричних та магнітних властивостей, що залежить від уявної частини комплексної проникності та комплексної проникності. Тому необхідно вивчати складну діелектричну проникність та комплексну проникність. Як відомо,

реальна (ϵ' , μ') та уявна (ϵ'' , μ'') частини складної проникності та складної проникності характеризують ємність зберігання та втрати електричної та магнітної енергії матеріалу відповідно. Діелектричну проникність визначали методом стоячої лінії. Товщина зразка становила 0,5 мм. Відомо, що ослаблення електромагнітного поля для чистого магнетиту нанорозміром становить приблизно -32 дБ -40 дБ в діапазоні від 2 до 4 ГГц. Релаксація електромагнітного поля створеним текстильним матеріалом, що містить наночастинки магнетиту, становить до -5 дБ в діапазоні 2 – 4 ГГц.

Запропоновано використання текстильного матеріалу з магнітними властивостями як текстильного екрану для захисту від електромагнітного випромінювання у надвисокочастотному діапазоні. У виробництві екранів з текстильних матеріалів із застосуванням нанотехнологій безсумнівною перевагою є високий технологічний рівень такої продукції, що поряд з високим виробництвом сучасного обладнання та відносно низькою вартістю сировини та технологічного процесу викликає перспективи з використанням технології одержання текстильних матеріалів з магнітними властивостями для створення гнучких конструкцій екранів та поглиначів електромагнітного випромінювання.

8.4 Gastronomic tourism as a powerful innovative technology to increase tourist flows in Ukraine

Розвиток туристичної галузі, а, зокрема, внутрішнього туризму в Україні може і повинен стати одним із стратегічно важливих напрямків для нашої країни. Про активний старт розвитку гастрономічного туризму свідчить ряд певних факторів.

По-перше, власне сама поява гастрономічних турів та їх позиціонування туристичними операторами як одного з наймодніших напрямків. По-друге, зараз набирають популярність спеціальні путівники, які присвячені гастрономічному туризму. В Україні гастрономічний туризм тільки починає своє становлення, тому цьому питанню варто приділити велику увагу. Ознайомленню туристів з іноземною кухнею сприяють ресторани, які представляють кухні різних країн світу, об'єднуючи людей і скорочуючи дистанцію міжкультурних відмінностей.

Необхідність бути в курсі світових трендів і прагнення вийти за рамки стандартного меню спрямовує українських рестораторів відвідувати інші країни, зустрічатися з кращими шеф-кухарями, проходити навчання в світових кулінарних школах, брати участь в майстер-класах та закупівлі продуктів.

Загальноновизнаними гастрономічними центрами України є Київ, Львів, Одеса, а також корисно буде відвідати Харків. Невеликі, але автентичні кафе можна знайти в Чернігові, Рівному, Вінниці, Чернівцях, Кам'янці.

Вибираючи гастрономічний тур, важливо розуміти, що він в корені відрізняється від традиційного масового туризму. Тут замість картинних галерей відвідування кафе і ресторанів; замість відпочинку на пляжі – дегустації; замість шопінгу і сувенірів – похід на ринки за продуктами для майстер-класів. Гастрономічні подорожі – це враження від поєднань нових смаків і продуктів, дегустації, безліч зустрічей і несподіваних відкриттів [439, 441-443].

Головна ж цінність гастрономічного туру в тому, що по всьому маршруту, протягом усіх днів групу супроводжує гастрономічний гід. Напрямки для таких турів продумуються дуже ретельно, адже важлива кожна деталь: специфіка кухні регіону, концепція закладів, дегустаційне меню, майстер-класи, свіжі продукти і презентації.

В Україні професійними гастрономічними турами займаються близько 5 компаній. З огляду на той факт, що це не масовий, а вузькоспеціалізований сектор, групи, які беруть участі у виїзних програмах, невеликі – від 10 до 20 осіб. Розробляючи еногастрономічні програми, важливо визначити цільову аудиторію, на яку вони сфокусовані.

Наприклад, вартість професійної поїздки на 7-10 днів в Італію, Францію, Іспанію становить 1800-2200 €/людину. Вартість гастрономічного уїк-енду для гурманів на 4 дня варіюється від 550 до 750 € / людину. По Україні програма на 3-5 днів коштує від 2000 грн. на людину в залежності від регіону.

Для того, щоб гастрономічні програми могли вільно відвідувати всі бажаючі, в тому числі – без знання іноземної мови, групу супроводжує гастрономічний гід по всьому маршруту.

Розвиток гастрономічного туризму має міцну основу, адже всі туристи під час подорожі харчуються, а для деяких їжа є засобом відчуття та проникнення до іншої культури, що в свою чергу підвищує загальне туристичне враження. Все частіше туристи прагнуть харчуватися тими продуктами та стравами, які підкреслюють спадщину і культуру місця, де вони знаходяться, а, як відомо, Україна має велику кулінарну спадщину та ще більший потенціал.

Гастрономічний туризм в нашій країні – перспективний, однак, ще не розвинений бізнес. Гастрономічний туризм в Україні може стати дуже вигідним, якщо до розвитку цього питання знайти вірний підхід [442].

Маловідомим є той факт, що в Україні виробляється 80% продуктів для високої гастрономії, починаючи від трюфелів, устриць і закінчуючи осетровими рибами, чорною ікорою і так далі. Це може бути цікаво професіоналам – рестораторам. А ось звичайних людей це навряд чи цікавить, тому що наша гастрономічна культура знаходиться на низькому рівні.

Україна має певний перелік власних гастрономічних турів , що можуть ознайомити туристів зі специфікою гастрономії країни (за даними 2018 року) [463-464]:

1. «Сиро-винний тур Закарпаттям».

Це захоплююча подорож Закарпаттям принесе туристам багато задоволення. Знайомство з різними етнокультурами цього регіону, зокрема з місцевою кухнею, може приємно здивувати. Знамениті вина Берегівського району в поєднанні з кращими місцевими сирами приємно порадують навіть найзавзятіших гурманів. Тур насичений цікавою туристичною програмою з відвідуванням знаменитих історичних і природних об'єктів. Вартість туру становить від 545 грн., тривалість туру – 2 дні. Протягом цього туру можна спробувати найсмачніші сорти сиру і марочні вина, що дарує гостинна закарпатська земля.

Програма автобусного туру зі Львова в Закарпаття пропонує туристам наступні задоволення:

- відвідування палацу Шенборна, Мукачівського, Королівського та Хустського замків;
- купання у термальних басейнах Берегово та екскурсія до водоспаду Шипіт;
- смачна дегустація сирів та вин, а також бойківської, лемківської, угорської кухні;
- можливість побувати на найбільшому озері України – Синевирі;
- ночівля в домівках сільського туризму.

Це найкращий тур зі Львова в Закарпаття з ознайомленням з історичними місцями, релігією, культурою та пам'ятками Закарпаття.

2. «Смачне Закарпаття».

Подорожуючи по найвідомішим містам і замкам Закарпаття, у туристів є можливість ознайомитися з древньою і непростою історією цього краю. Легенди та перекази старовини, чарівна природа, колоритні мешканці – все це постає перед туристами у всій красі. У перерві між екскурсіями пропонується смачна закарпатська кухня, дегустація сирів з вином. Тривалість туру – 3 дні/2 ночі, вартість – від 1550 грн.

3. «Кулінарне Закарпаття».

Цей цікавий і не менш смачний тур присвячений усім любителям вишуканої їжі. Тільки тут у туристів є можливість поласувати місцевими делікатесами: бограчем-гуляшем, кремзликами з м'ясом і овочами, палачинтами з домашнім лекваром і

місцевим делікатесом – жаб'ячими лапками. Ці та багато інших ласощів будуть приправлені міцними наливками і домашнім вином.

Подорож розрахована на 2 дні, вартість – від 1650 грн. Тур включає такі міста: Ужгород – Перечин – Берегово – Середнє – Мукачеве. У програму туру входить:

- цікава екскурсія «Унгвар – кулінарна столиця»;
- відвідування Ужгородського замку, музею, в якому представлені експонати архітектури, де можна побачити різні предмети побуту, а також прогулянка по старовинному місту;
- можливість дегустування місцевих вин;
- у корчмі «Господа» туристів чекає смачна їжа, представлена вишуканими делікатесами;
- навчальний курс з приготування латте і створення на пінці арт-дизайну, дегустація міцних сортів кави;
- родзинкою екскурсії будуть кондитерські шедеври відомого майстра В. Штефаньо [446];
- смачна вечеря зі страв національної кухні у відомому кафе «Корчма»;
- відвідування старовинного центру виноробства і винних льохів у м. Берегові;
- відвідування залишків замку тамплієрів;
- куштування смачних страв, приготованих зі свинячого коліна в Угорському ресторані.
- прогулянка вулицями міста Мукачеве, а також відвідування замку Паланок;
- дегустація меду.

4. «Полтавські галушки».

Під час цього туру туристи можуть познайомитися з легендарною Диканькою, мальовничою Полтавою, побачити столицю гончарства, пройтися гоголівськими місцями. Тільки в цьому місці можна взяти участь в майстер-класі і дізнатися всі тонкощі приготування полтавських галушок. Вартість туру на 2 дні – від 1450 грн. Тур складається з таких міст: Київ – Полтава – Великі Сорочинці – Диканька –

Опішне – Гоголеве. Це смачний і веселий тур на Полтавщину. Поїздка подарує туристам гарний настрій, нові кулінарні пізнання і радість від близького знайомства зі справжньою українською культурою. Нікого не залишать байдужими як щедра Полтава і майстер-клас з галушок, так і легендарна Диканька, столиця гончарства Опішне і славне Гоголеве.

Також, у туристів є можливість побувати в церкві, де знімали «Вія», погуляти «на хуторі біля Диканьки» і ближче познайомитися з самим Гоголем і його надзвичайною життєвою історією.

5. «Хмільний Львів».

Гастрономічні тури по Україні складно уявити без цього міста. Прогулянка древніми вулицями Львова завжди цікава, а якщо все це поєднати з відвідуванням місцевих ресторанів і барів, то можна вважати, відпочинок ідеальним. Під час цього туру у туристів є змога побувати в музеї пивоваріння, дізнатися про історію цього напою, а також взяти участь у дегустації свіжозвареного пива. «Львівські кав'ярні» пропонують насолодитися відомою львівською кавою і дізнатися секрети її приготування. Тур розрахований на 3 дні, його вартість – від 790 грн. Складається з відвідування таких міст: Львів – Олешко – Підгорци – Золочів – Жолква – Крехів – Івано-Франківськ – Львів. Завдяки цьому туру туристи зможуть поринути у неповторну атмосферу та привабливість місцевих брукованих вуличок.

Під час екскурсії «Хмільний Львів» можна пізнати усі тонкощі і нюанси львівського життя. Пиво, медовуха, а також бензівка, нафтівка і гасівка, приправлені смачним львівським колоритом допоможуть поринути у екзотику львівських напоїв. Ті, хто проведе вечір у старовинних підземеллях Хмільного дому Роберта Домса під акомпанемент живої музики, зранку будуть готові до нових пригод і звершень. Прогулянка видатними місцинами Львова є хорошим завершальним акордом хмільного туру.

6. «Прогулянка по-одеські».

Туристи, які закохані в море, обирають тур в Одесу. Це місто завжди радіє гостям. Туристи можуть отримати справжнє задоволення від прогулянок

старовинними будинками і пам'ятниками, затишними скверами та тихими вулицями, які залишаться у пам'яті туристів назавжди.

До їх послуг харчування в кращих закладах міста, де завжди все свіже і смачне. Особливістю цього туру є відвідування кон'ячного заводу. Вартість поїздки на 2 дні – від 1655 грн.

7. «Фестиваль їжі в Луцьку і Тунель кохання».

Весною в Луцьку відбувається гастрономічний фестиваль «Lutsk Food Fest». Кращі кулінари країни беруть участь у створенні кулінарних шедеврів. Туристи можуть не тільки взяти участь в дегустації, а й купити вподобані страви. Тур на 2 дні, вартість – від 695 грн. В тур включена поїздка в Клевань для відвідування тунелю кохання. Тур включає: Львів – Луцьк – Клевань – Рівне – Острог. Тривалість туру: 2 дні/1 ніч.

Для подальшого вдосконалення вже існуючих та створення нових популярних гастрономічних турів в Україні, необхідно вирішити ряд проблем. До факторів, що гальмують розвиток гастрономічного туризму в Україні, можна віднести:

- відсутність досвіду у місцевих туристських операторів в організації гастрономічних турів;
- зростання вартості гастрономічних турів;
- недостатньо висока якість обслуговування відвідувачів на підприємствах туризму і гостинності;
- недостатній рівень розвитку туристської дорожньої і інженерної інфраструктури;
- невідповідність рівня цін колективних засобів розміщення і транспортних організацій до якості надаваних споживачам послуг;
- недосконалість нормативно-правової бази в сфері регулювання туризму;
- відсутність надійного оперативного інформаційного банку даних про туристичні ресурси, об'єкти, послуги в регіоні, не повна відповідність методів статистичних досліджень в туризмі методології ЮН ВТО (Всесвітня туристична організація) [440].

В Україні, не дивлячись на певний український культ їжі, гастрономічний туризм поки що не дуже розвинутий. Гастрономічні івенти лише починають з'являтися, проте поки що вони носять лише локальний характер та орієнтовані загалом на місцевих мешканців. Масштабних заходів із самостійним брендом, які могли б заволікти туристів з інших регіонів, міст, країн, поки що не вистачає.

Україна славиться своєю кухнею. Кожен регіон має свою, особливу страву, якою пишаються місцеві жителі. Тож, для потужної віддачі у вигляді великого потоку гастротуристів, необхідно докласти багато зусиль та інвестувати великі фінансові суми.

Як правило, компанії, які пропонують гастрономічні тури, формують готовий пакет з тим, щоб турист, приїхавши на місце, не нудьгував ні хвилини. Такі тури коштують значно дорожче, ніж звичайна поїздка, але ціну компенсує доступ до гастрономічних пам'яток, про які в іншому випадку туристи б просто не дізналися. Не складно пошукати в мережі Інтернет та дізнатися, що в Петербурзі потрібно дивитися Ермітаж і Спаса-на-Крові, а в Парижі – Ейфелеву вежу і Нотр-дам, але звідки ж туристам дізнатися про існування невеликої фабрики, де роблять унікальне оливкове масло.

Дослідження, проведені студентами факультету економіки та менеджменту Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова показали, що на даний момент у м. Полтава немає розроблених гастрономічних турів, які туристичні фірми могли б запропонувати туристам.

Отже, реалізація даної фірмової послуги зацікавить потенційних споживачів та не матиме конкурентів серед інших закладів розміщення.

Метою розроблених гастрономічних турів є знайомство з різноманітною кухнею, представленою в м. Полтаві, історичною та культурною спадщиною, традиціями і звичаями завдяки пізнавальним екскурсіям, дегустаціям, майстер-класам та навчанні технології і процесу приготування національних страв.

На підставі проведеного дослідження розроблено концепцію гастротурів «Я вегетаріанець», «Кухні народу світу», «Топові ресторани Полтави», яку наведено в табл. 2.

Концепція гастротурів

Гастро-тур №1		
№	Ознаки	Характеристика
1	2	3
1	Робоча назва	1. «Я вегетаріанець».
2	Тип туризму	Внутрішній
3	Вид туризму	Гастрономічний
4	Тип пропозиції	Групове обслуговування
5	Клас обслуговув.	Туристський
6	Тривалість туру	2 дні: туристи встигнуть повноцінно відпочити, оглянути місцеві видатні пам'ятки і побувати в усіх закладах для вегетаріанців у м. Полтава
7	Схема маршруту	День 1. 1. Відвідування Ресторану «Палаццо». 2. Відвідування найкращої площі Полтави та Білої Альтанки. Вільний час – 20 хвилин. 3. Відвідування кафе японської кухні «Бонсай». Вільний час 15 хвилин. 4. Відвідування пам'ятнику Галушці. Вільний час – 30 хвилин. 5. Відвідування бару вегетаріанської їжі «Concrete bar». Вільний час 15 хвилин. День 2. 1. Відвідування Ресторану «Тау». 2. Відвідування площі Соборності. Вільний час – 30 хвилин. 3. Відвідування літературно-меморіального музею Іана Котляревського. Медитація в саду музею-усадиби.
7	Схема маршруту	4. Відвідування кафе ведичної кухні «Сафрон». Лекція про особливості вегетаріанської кухні. Майстер клас з приготування страв ведичної кухні.
8	Максимальна кількість туристів, чол.	10-12 осіб. Це пов'язано з особливістю гастрономічних турів і зручністю проведення майстер-класів. Кожному туристу необхідно приділити увагу, пояснити технологію приготування страв.
9	Режим роботи	Цілорічний.
10	Засіб переміщення	Для перевезення туристів планується використовувати екскурсійний автобус Peugeot Boxer (17 посадочних місць).
11	Позиціонування	Для задоволення потреб гастротуристів в дегустації та вивченні вегетаріанської кухні, кухні зі східним уклоном.
12	Наявність супутніх послуг	На протязі всього маршруту наявність мобільного зв'язку, Інтернет, банкомати, обмінники.
13	Форма власності	Приватна
14	Додатково	Оглядова нічна екскурсія на екскурсійному автобусі за бажанням (за додаткову плату).
11	Позиціонування	Для задоволення потреб гастротуристів в дегустації та вивченні вегетаріанської кухні, кухні зі східним уклоном.
12	Наявність супутніх послуг	На протязі всього маршруту наявність мобільного зв'язку, Інтернет, банкомати, обмінники.
13	Форма власності	Приватна
14	Додатково	Оглядова нічна екскурсія на екскурсійному автобусі за бажанням (за додаткову плату).

Гастро-тур №2		
№	Ознаки	Характеристика
1	2	3
1	Робоча назва	1. «Кухні народу світу».
2	Тип туризму	Внутрішній
3	Вид туризму	Гастрономічний
4	Тип пропозиції	Групове обслуговування
5	Клас обслуговув.	Туристський
6	Тривалість туру	2 дні: туристи встигнуть повноцінно відпочити, оглянути місцеві видатні пам'ятки і побувати в усіх закладах різних кухонь світу
7	Схема маршруту	День 1. 1. Відвідування Центральної мечеті Полтавської області. 2. Відвідування ресторану індійської кухні «Гадж Махал». 3. Відвідування Іванової гори, дитинець літописного міста Лтава. Вільний час 15 хвилин. 4. Відвідування ресторану японської кухні «Кіото Річ». Вільний час 15 хвилин. День 2. 1. Відвідування Полтавського краєзнавчого музею . Вільний час 20 хвилин. 2. Відвідування Хрестовоздвиженський монастирю . Вільний час 15 хвилин. 3. Відвідування ресторану азіатської кухні «Казан-Тандир». 4. Відвідування Поля Полтавської битви . Вільний час – 30 хвилин. 5. Відвідування Pitseriya «Parmezan».
8	Максимальна кількість туристів, чол.	10-15 осіб. Це пов'язано з особливістю гастрономічних турів і зручністю проведення майстер-класів. Кожному туристу необхідно приділити увагу, пояснити технологію приготування страв.
9	Режим роботи	Цілорічний.
10	Засіб переміщення	Для перевезення туристів планується використовувати екскурсійний автобус Peugeot Boxer (17 посадочних місць).
11	Позиціонування	Для задоволення потреб гастротуристів в дегустації та вивченні кухні народів світу.
12	Наявність супутніх послуг	На протязі всього маршруту наявність мобільного зв'язку, Інтернет, банкомати, обмінники.
13	Форма власності	Приватна
14	Додатково	Оглядова нічна екскурсія на екскурсійному автобусі за бажанням (за додаткову плату).
Гастро-тур №3		
№	Ознаки	Характеристика
1	Робоча назва	«Топові ресторани Полтави».
2	Тип туризму	Внутрішній
3	Вид туризму	Гастрономічний
4	Тип пропозиції	Групове обслуговування
5	Клас	Туристський
6	Тривалість туру	3 дні: туристи встигнуть повноцінно відпочити, оглянути місцеві видатні пам'ятки і побувати в усіх закладах

1	2	3
7	Схема маршруту	<p>День 1.</p> <p>1. Відвідування Ресторану української кухні «Козачка». Пізній сніданок</p> <p>2. Відвідування Полтавського художнього музею. Вільний час – 20 хвилин.</p> <p>3. Відвідування Полтавського краєзнавчого музею. Вільний час 15 хвилин.</p> <p>4. Кругла площа Полтави. Вільний час 15 хвилин.</p> <p>5. Вечеря в ресторані «Шалена шкварка».</p> <p>День 2.</p> <p>1. Обід в ресторані «Del Resto».</p> <p>2. Відвідування Музею-усадьби Панаса Мирного. Вільний час 15 хвилин.</p> <p>3. Відвідування Хрестовоздвиженський монастирю. Вільний час 20 хвилин.</p> <p>4. Вечеря в ресторані «Паллацо».</p> <p>5. Відвідування <i>Полтавського</i> академічного обласного українського музично-драматичного <i>театру</i> імені М. Гоголя.</p> <p>День 3.</p> <p>1. Обід в ресторані «Панорама».</p> <p>2. Відвідування Іванової гори, дитинець літописного міста Лтава.. Вільний час – 20 хвилин.</p> <p>3. Відвідування кінотеатру «Multiplex» ТРЦ «Екватор».</p> <p>4. Вечеря в ресторані «MEAT WOOD».</p>
8	Максимальна кількість туристів, чол.	5-7 осіб. Це пов'язано з особливістю гастрономічного туру і зручністю проведення майстер-класів. Кожному туристу необхідно приділити увагу, пояснити технологію приготування страв.
9	Режим роботи	Цілорічний.
10	Засіб переміщення	Для перевезення туристів планується використовувати екскурсійний автобус Peugeot Boxer.
11	Позиціонування	Для задоволення потреб гостротуристів в ознайомленні з топовими закладами харчування м. Полтава.
12	Наявність супутніх послуг	На протязі всього маршруту наявність мобільного зв'язку, Інтернет, банкомати, обмінники.
13	Форма власності	Приватна
14	Додатково	Оглядова нічна екскурсія на екскурсійному автобусі за бажанням (за додаткову плату). Лекція з рецептів основних страв (за додаткову плату).

*Перелік ЗРГ складений на основі соціальних опитувань Інтернет-джерела TripAdvisor.

Створення їх дозволить споживачам обрати для них найпривабливіший варіант, який повністю задовольнить їх потреби. Впровадження комплексу додаткових послуг направлено на задоволення попиту туристів у різних напрямках:

- споживанні вегетаріанських страв;

- пізнанні технологій та секретів приготування різноманітних національних страв;
- відвідуванні «топових» ЗРГ.

По маршруту гастрономічні тури є радіальними, тобто початок і закінчення відбуваються в одному географічному пункті перебування, розташовуючись в якому турист здійснює подорожі в інші пункти перебування, повертаючись в пункт початку подорожі. Вихідним і кінцевим пунктом маршруту є центр міста. Маршрут проходить по територіях різних районів м. Полтава. Вигідною особливістю гастрономічних турів є можливість їх цілорічного проведення, адже гастрономічні тури не прив'язані до погодних умов, дегустувати і готувати будь-яку кухню можна навіть в зимовий період. Майже в кожному пункті призначення туристам надається вільний час для фотографування, спілкування або придбання сувенірної продукції. Адже головна умова проведення успішного туру – надання туристам певної «свободи» дій, аби вони змогли вдосталь насолодитися перебуванням у місті.

8.5 Аналіз науково-дослідних робіт із оплавлення покриттів, нанесених за допомогою різних джерел нагріву

8.5.1 Сучасний стан питання, що вивчається

Довговічність та інші експлуатаційні характеристики деталей машин в значній мірі визначаються фізико-хімічним станом тонких поверхневих шарів. Локалізація зміцнюючих процесів в цих шарах слугує значним резервом підвищення ресурсу деталей при скороченні затрат на виготовлення матеріалів. Одним з найбільш прогресивних напрямків зміцнюючих технологій, є нанесення захисних покриттів з самофлюсуючихся сплавів, які мають високі експлуатаційні якості, при порівняно низькій вартості.

Основні характеристики покриттів при високотемпературному напилюванні (адгезія, когезія, пористість, зносостійкість і ін.) визначаються не тільки вибором матеріалів і розробкою складів покриттів, але й багатьма теплофізичними й технологічними аспектами процесу напилювання.

Незважаючи на певні успіхи, досягнуті в підвищенні якості газотермічних покриттів і, головним чином нанесених за допомогою плазмотронів, газотермічні покриття зберігають основні, властиві їм недоліки [468]. У першу чергу це стосується адгезійної міцності й пористості. І якщо недостатня адгезійна міцність може привести до руйнування покриттів на деталях, що працюють в умовах ударних навантажень, то висока пористість може викликати відшарування будь-якого покриття, тому що у цьому випадку можливе окиснення як самого покриття, так і підложки.

Дослідження поперечного перерізу покриття [468], нанесеного порошком ПГ-ХН80СРЗ методом плазмового напилювання показало, що частина часток приходить на поверхню основи в непроплавленому стані й утримується на ній тільки за рахунок закріплення пластичними частками. Крім того, навіть у повністю розплавлених часток зварені ділянки становлять частину площі контакту "частка-основа" і "частка-частка". Таким чином, формування покриття послідовним укладанням із часток неминуче приводить до появи

мікропорожнеч, особливо на їхніх стиках. Покриття формується в атмосфері, тому мікропорожнини заповнюються газом, що погіршує властивості міжшарових границь, що мають найбільшу насиченість адсорбованими газами. Взаємодія з атмосферою, адсорбція газів і осідання пилоподібних фракцій суттєво погіршують властивості міжшарової зони покриття.

У практиці газотермічного нанесення покриттів широке поширення одержала наступна за напилюванням зміцнююча обробка напиляного шару. У першу чергу дана обробка застосовується для збільшення адгезійної і когезійної міцності покриттів, зниження пористості, вирівнювання мікро- і макроструктури. Відомі кілька методів високотемпературного зміцнення напиляних покриттів: спікання, просочення з термообробкою, пластичне деформування, оплавлення. Найпоширенішим способом зміцнення покриттів є їхнє оплавлення.

Крім ліквідації пористості, видалення окислів, оплавлення покриття веде до значного збільшення взаємної дифузії елементів покриття й основи, що підвищує адгезію й, відповідно, міцність покриття. Якщо в неоплавлених покриттів адгезійна міцність не перевищує $3 \dots 5 \text{ кгс/мм}^2$, то після оплавлення цей показник зростає до $28 \dots 40 \text{ кгс/мм}^2$ і більше. Поряд із цим, при оплавленні на різних режимах можуть змінюватися фізико-механічні властивості покриття внаслідок зміни структури оплавленого сплаву. Таким чином, покриття, отримане напилюванням з наступним оплавленням, на відміну від неоплавленого, здатне витримати значні механічні навантаження: вигин, удар і т.д.

Оплавлення покриттів роблять різними способами, як шляхом нагрівання одночасно всієї оброблюваної поверхні (наприклад, у печах, соляних ваннах), так і за допомогою локального нагрівання концентрованими джерелами енергії (наприклад, оплавлення променем лазера, електронним пучком, електроконтактним нагріванням, електричною дугою, мікроплазмовим джерелом, полум'ям газового пальника, плазмовим струменем).

Оплавлення покриттів у печах можна робити у відновлювальній атмосфері, створюваної газами при згорянні деревного вугілля або аміаком, або в нейтральній атмосфері, для утворення якої використовують водень або азот. Також досить ефективно, з погляду якості покриттів, використання вакуумної печі. За даними, наведеним у роботі [468], зносостійкість покриттів, оплавлених у вакуумній печі, перевищує зносостійкість покриттів, оплавлених за допомогою газового пальника. Найкращі характеристики отримані після термообробки в печі в плинні однієї години при температурі 1303 К (ПГ-ХН80СР2), 1293 К (ПГ-ХН80СР3), 1263 К (СНГН). По даним [468], після термообробки в печі з неокислювальною атмосферою отримане практично безпорісте покриття з адгезійною міцністю, що перевищує 15 кгс/мм². Оплавлення в печах і соляних ваннах є досить технологічним методом, але значний прогрів усієї маси деталі може привести до погіршення структури матеріалу основи. Даний метод має обмеження також по габаритах оброблюваних деталей і, крім того, він не дозволяє робити оплавлення тугоплавких композиційних матеріалів на сталях.

Досить розповсюдженим методом оплавлення є високочастотне індукційне нагрівання [469]. У цьому випадку залежно від геометрії, розмірів індуктора й оброблюваної деталі нагрівання здійснюється або одночасно всієї поверхні, або певних ділянок. Умови проплавлення являють собою відповідне сполучення часу нагрівання, споживаної потужності й форми індуктора. Недоліком індукційного нагрівання є необхідність у кожному окремому випадку виготовляти індуктор відповідно до конфігурації виробу. Крім того, при використанні індукційного нагрівання складно обробляти покриття з тугоплавких з'єднань на немагнітних сплавах.

З погляду фізико-механічних характеристик одержуваного композита “основа-покриття” у цілому, а також з економічних показників процесу найбільш раціональним і ефективним є використання для нагрівання концентрованих джерел енергії, тому що в цьому випадку не відбувається значного розігріву всієї маси оброблюваної деталі.

Оплавлення покриттів пучком електронів, що мають довжину пробігу в матеріалі, що опромінюється, рівну або трохи більшу товщини необхідного шару розплавлення, дозволяє підвищити щільність потужності в пучку, швидкість і продуктивність оплавлення, а також виключити закипання розплаву й винос його із зони нагрівання. Покриття, одержуване в цьому випадку, має високу однорідність і гарну адгезійну міцність. Оплавлення пучком електронів проводять як у спеціальних вакуумних камерах, так і в атмосферному повітрі. Оплавлення за допомогою електронного пучка дозволяє одержати високі фізико-механічні характеристики напиляних покриттів при збереженні вихідної структури матеріалу основи. Але більшим недоліком даного методу є складність і висока вартість використовуваного встаткування. При цьому робота з електронно-променевими установками вимагає спеціальних заходів щодо захисту обслуговуючого персоналу. Що стосується техніко-економічних показників процесів обробки електронним пучком, то й тут є певні недоліки. У першу чергу, це ставиться до ККД нагрівання поверхні. У роботах, присвячених дослідженню процесів обробки матеріалів електронними пучками, відзначається, що через відбиття електронів від поверхні відношення потужності, поглиненої матеріалом, до вихідної потужності пучка становить для заліза (сталі) 0,25...0,3 і лише для елементів з більшими атомними номерами, наприклад, для вольфраму, досягає 0,5. Таким чином, і в цьому випадку має місце істотна втрата енергії. Також необхідно відзначити, що при використанні електронно-променевих установок виникають проблеми з обробкою деталей зі складною геометрією. Таким чином, у зв'язку з відзначеними вище недоліками, обробка покриттів електронним пучком на практиці застосовується вкрай рідко.

Уникнути перемішування покриття з основою можна при використанні мікроплазмового нагрівання. Процес мікроплазмового оплавлення характеризується незначною зоною термічного впливу (до 300 мкм). При цьому мікроплазмовий струмінь інтенсивно нагріває тільки покриття. Істотним недоліком мікроплазмового нагрівання є його низька продуктивність.

Найпоширенішим способом оплавлення є оплавлення за допомогою ацетілено- кисневих пальників. Нагрівання здійснюють нейтральним полум'ям. Даний спосіб залучає простотою й доступністю встаткування й самої технології. Також відоме застосування як джерело нагрівання плазмового струменя. Ним можна обробляти будь-які матеріали, включаючи тугоплавкі з'єднання.

До недоліків електроконтактного нагрівання слід віднести труднощі обробки деталей зі складною геометрією й неможливість обробки не електропровідних матеріалів. Що стосується зміцнення покриттів просоченням з наступною термообробкою, то в даній технології передбачається об'ємне нагрівання всього виробу, а, отже, мають місце недоліки, властиві оплавленню покриттів у печах.

Недоліки використання для оплавлення дугового зварювання в інертному середовищі й мікроплазмового нагрівання відзначені вище.

З погляду технологічності процесу із застосовуваних методів найбільш раціональний плазмовий спосіб оплавлення. У цьому випадку можлива обробка будь-яких матеріалів і не потрібно додаткове дороге встаткування. Крім того, використання як концентроване джерело енергії плазмового струменя дозволяє в широких межах управляти температурно-тимчасовими параметрами процесу обробки напиляних покриттів. А можливість використання в якості плазмоутворюючого середовища недорогих і недефіцитних газів, аж до повітря, робить цей метод особливо привабливим.

До основних недоліків плазмових покриттів слід віднести їхню низьку адгезійну міцність і високу пористість. Однієї із причин, що приводять до зазначених недоліків, є те, що температура й швидкість струменів плазми розподілені по перетину нерівномірно, внаслідок чого частки, що приходять на поверхню, мають різні значення температури й швидкості. Також істотним недоліком плазмоструйного нагрівання є те, що існуючі напилювальні плазмотрони мають високу швидкість витікання плазмового струменя (розраховані на роботу в турбулентному режимі). Таким чином, при роботі на малій дистанції через високий тиск плазмового струменя на напиляну поверхню

може відбуватися порушення шару покриття, при збільшенні дистанції дуже складно прогріти оброблювану поверхню, тому що в напилювальних плазмотронів через високий рівень турбулентності на зрізі вихідного електрода довжина високоенергетичної зони струменя плазми невелика.

У зв'язку із цим, представляється перспективним оплавлення покриттів концентрованим лазерним випромінюванням, що не створює тиск на оброблювану поверхню, для зниження пористості й різнотовщинності нанесених шарів з одночасним підвищенням рівня сплавлення порошкових матеріалів з метою збільшення терміну служби й безаварійної роботи плазменно-напиляних виробів.

8.5.2 Аналіз робіт з оплавлення зносостійких покриттів лазерним випромінюванням

Традиційна технологія одержання покриттів з порошкових сплавів, що самофлюсуються передбачає їх напилювання на зміцнювану поверхню, оплавлення шляхом нагріву до температури, що відповідає інтервалу кристалізації даного сплаву (1000...1200 °С), та послідуєчого повільного остигання. Однак, використання неконцентрованих джерел нагріву при оплавленні покриттів завжди призводить до виникнення ряду негативних явищ: об'ємному розігріву зміцнюваних деталей до високих температур; посиленню процесів відпуску та рекристалізації; розміцненню матеріалу основи та значним температурним деформаціям. Все це суттєво звужує область використання даної технології та примушує шукати нові методи оплавлення покриттів. Одним з яких є використання джерел концентрованої енергії, а саме потужних технологічних лазерів.

Процес лазерної обробки є ефективним методом термічної обробки, і володіє наступною низкою переваг, в порівнянні з вищепереліченими процесами:

- високі густини потужності лазерного випромінювання, істотно перевищуючі інші джерела енергії, дозволяють значно збільшити продуктивність процесу;
- висока концентрація енергії, що підводиться, і локальність процесу, дозволяють проводити обробку тільки поверхневої ділянки матеріалу без нагріву решти об'єму і порушення його структури і властивостей;
- відсутність деформацій, поводок і викривлення деталей після обробки;
- можливість управляти структурою і властивостями отриманих поверхневих шарів, змінюючи параметри лазерної обробки;
- відсутність механічних зусиль на оброблюваний матеріал дає можливість обробляти крихкі і ажурні вироби;
- можливість обробки на повітрі;
- добра відтворність результатів обробки;
- простота автоматизації процесу і ін.

Необхідність дослідження процесів оплавлення покриттів лазерним випромінюванням з різними довжинами хвиль викликана наступними факторами:

1. У промисловості існує необхідність нанесення покриттів при виготовленні деталей з різних металів та сплавів.

2. Крім того, існує гостра проблема відновлення і зміцнення деталей різних форм і розмірів (як циліндричних так і плоских) і також нанесення покриттів у вигляді тонких доріжок й малих плям.

3. Традиційні методи газотермічного нанесення покриттів, мають ряд недоліків, обумовлених специфікою фазо- та структуроутворення матеріалів при напилюванні (пороутворення, мала міцність зчеплення покриття з основою, значна шорсткість після напилювання, нерівномірність по товщині, хімічна та структурна неоднорідність, потреба у подальшій механічній обробці тощо). В зв'язку з цим існує потреба в подальшому оплавленні покриттів з метою

усунення наведених недоліків. Одним з перспективних шляхів істотного поліпшення фізико-механічних властивостей та експлуатаційних характеристик покриттів є оплавлення за допомогою лазерного випромінювання.

4. Інтерес викликає оплавлення лазерним випромінюванням з різними довжинами хвиль покриттів з самофлюсуючихся сплавів, які мають високу зносостійкість, корозійну стійкість, стійкість до активних хімічних середовищ й покриттів, які працюють у складних умовах з ударними навантаженнями (приклад – розподільчі та колінчаті вали двигунів внутрішнього згорання, елементи ходової частини залізничного та автомобільного транспорту, деталі бурового і нафтоздобуваючого обладнання, плунжерні вузли).

Лазерне оплавлення напиляних покриттів було запропоновано з метою підвищення міцностних якостей напиляних покриттів, шляхом усунення макродефектності структури як усього покриття, так й контактної зони між покриттям та основою [470-472]. Встановлено, що лазерна обробка покриттів зменшує кількість пор і окислів, суттєво збільшує адгезійну міцність покриттів. За рахунок зміни параметрів променя може регулюватися глибина проплавлення шару, вона може бути дорівнює товщині попередньо нанесеного шару, може перевершувати її й розплавляти частина основи. Висока швидкість нагрівання при лазерному оплавленні дозволяє зберігати вихідну (у тому числі дрібнозернисту) структуру матеріалу покриття.

Однак, наведені у роботах [470-476] дані по структурі, фазовому складу та мікротвердості навіть для одного типу самофлюсуючогося порошку не співпадають, та навіть протиречуть один одному. Так в роботі [470] спостерігається структура нікелевої матриці з дисперсною та рівномірною структурою. Дендрити являють собою γ -твердий розчин нікелю, а між гілками дендритів γ -твердого розчину кристалізується тонкоразгалужена бори дна евтектика. В роботі [471], навпаки, підкреслюється неоднорідність структури, пов'язана з різними термічними режимами кристалізації, які мають місце в ванні розплаву, яку утворює лазерний промінь, та описуються три характерні зони, які відрізняються формою, структурою та розмірами карбідних включень.

Мілкокристалічна неоднорідна структура, обумовлена перемішуванням, з різними по формі та розподілу зміцнюючіми фазами описана в роботі [473].

При аналізі фазового складу рентгеноструктурними методами, основна фазова складова досліджуваних покриттів - γ -твердий розчин нікелю – ідентифікується в усіх роботах. А от що стосується інших фаз, то в літературі наведені дуже відрізняючися дані о їх якісному та кількісному складі. Наприклад, у роботі [470] підкреслюється наявність в основному боридів нікелю Ni_3B , хрому, та карбідів хрому Cr_7C_3 та Cr_3C_2 . В роботі [471] після лазерного оплавлення покриття виявлено наявність лише Ni_2B , в якості другої фази відмічений Ni_3B . Проведений в [473] аналіз дозволив надійно ідентифікувати такі фази як $Cr_{23}C_6$, Cr_3C_2 та CrB .

Пов'язуючи значення мікротвердості зі ступенем пересиченості γ -твердого розчину, автори робіт [470-471] роблять протилежні висновки, порівнюючи мікротвердість покриттів оплавлених лазером та газовим полум'ям.

Така невизначеність структурного та фазового складу призводить до протилежних висновків по відношенню до механізмів формування та мікротвердості оплавлених лазерним випромінюванням покриттів.

Роботи, пов'язані з дослідженням впливу довжини хвилі лазерного випромінювання на параметри оплавлення самофлюсуючихся покриттів не були виявлені.

Структурні дослідження, уточнення фазового складу та оцінка механічних характеристик покриттів з самофлюсуючихся сплавів, оплавлених лазерним випромінюванням, залишаються актуальною науковою проблемою, як з точки зору більш надійного прогнозування експлуатаційних характеристик покриттів, так й з ціллю більш глибокого поняття фундаментальних процесів, що відбуваються в зоні дії лазерного випромінювання.

Технологія оплавлення покриттів лазерним випромінюванням з різними довжинами хвиль забезпечує широкі можливості отримання поверхневих шарів металу із необхідною структурою. Це створює принципові передумови для

формування покриттів із заданими службовими характеристиками. Дослідження, проведені по даному напрямку, до теперішнього часу носили епізодичний характер і не дозволяли вирішити проблему створення технологічних процесів лазерного оплавлення покриттів. З цієї точки зору важливим є вивчення теплових умов формування таких поверхневих шарів при лазерній обробці, визначення оптимальних режимів оплавлення покриттів, що забезпечують необхідну структуру і властивості виробів. Це дозволить визначити нові перспективні області застосування даних процесів.

На підставі вищевикладеного матеріалу, можна зробити наступні висновки:

- аналіз робіт, виконаних в цій області, показує, що дані праць різних авторів по структурі, фазовому складу та мікротвердості навіть для одного типу самофлюсуючого порошку не співпадають, та навіть протиречуть один одному;

- мало вивчені можливості застосування цієї технології для отримання поверхневих шарів на робочих поверхнях деталей з високими триботехнічними і механічними характеристиками;

- дотепер не визначений набір оптимальних технологічних режимів оплавлення покриттів лазерним випромінюванням з різними довжинами хвиль, при яких формується структура з підвищеними експлуатаційними характеристиками зносостійкості, корозійної стійкості, твердості.

8.6 Інноваційна технологія забезпечення екологічної безпеки агросфери області

Техногенний розвиток людства, як відомо, супроводжується одночасно як збільшенням чисельності населення, так і зростанням масштабів споживання природних ресурсів і накопиченням обсягів відходів, викидів до атмосфери забруднюючих речовин, скидів до водних об'єктів неочищених стоків, накопичення у ґрунтах пестицидів та засобів захисту рослин від хвороб і шкідників.

Вплив цих факторів антропогенного характеру на довкілля на даний час значно перевищує компенсаційні можливості екосистем різного рівня поглинати і нейтралізувати результати господарсько-економічної діяльності людини та суспільства.

Внаслідок цього маємо сучасну ситуацію, яка за чисельними науковими дослідженнями з використанням кількісних і якісних показників, характеризується наближенням або перевищенням за окремими параметрами меж стійкості природних екосистем.

У зв'язку з цим, гострою проблемою стало забезпечення екологічної безпеки агросфер (територій) як на локальному (районному), так і регіональному (область) рівнях із врахуванням екологічних обмежень у плануванні напрямків їхнього подальшого соціо-економіко-екологічного розвитку.

Розробку технології забезпечення екологічної безпеки (ЕБ) агросфер здійснювали на прикладі Рівненської області (Україна) з площею 20051 км², в складі якої на період 2015 р. функціонувало 16 адміністративних районів, 1026 населених пунктів (з них 1000 сіл) і проживає станом на 2019 р. 1157,3 тис. осіб, яка в розвитку має аграрне спрямування.

Рельєф рівнинний, клімат помірно-континентальний. Флора області нараховує 1,6 тисяч видів рослин. У рослинному покриві переважають ліси. Ґрунти зони Полісся представлені дерново-підзолистими, дерново-глейовими, торф'яно-глейовими, торф'яно-болотними типами, а у зоні Лісостепу –

чорноземами опідзоленими, сірими лісовими, карбонатними.

Під сільськогосподарські культури щорічно вноситься 1,2 т/га органічних і 117,4 кг/га мінеральних добрив.

Щільність викидів забруднюючих речовин до атмосфери області складає від 42,0 до 54,1 кг/особу. У поверхневі води щорічно скидається до 52,8 млн м³ зворотних вод, накопичується 154,6 тис. т. відходів II-III класів. Основна частина забруднених земель в зоні Полісся має щільність від 1 до 2 Кі/км², а з поверхні ґрунтів виділяється від 9 до 89 мБк/(м²*с.) газу радону.

В нашому визначенні екологічну безпеку агросфери слід зрозуміти як типу динамічної рівноваги складної, відкритої, вірогіднісної, нелінійної системи, ресурсної, агроекологічної, антропоцентричної складових, які впливають на економіку, людину, при якій функціонує система запобігання виникненню будь яких екодеструктивних чинників, захищеність від їхньої дії людини, ґрунтів, ґрунтових екосистем, ресурсів, врожаїв, збереження їх властивостей та підтримання відновної здатності у ближній та віддаленій перспективі.

Проміжок між поняттями екологічна безпека (загрози відсутні) і екологічна небезпека (загрози погіршують природне середовище до стану неможливого його відновлення) рекомендується покласти в основу системи діагностики агросфери.

Запропоновано за типом взаємопов'язаних об'єктів екологічну безпеку агросфери представляти функцією трьох перемінних, а саме: ресурсної, агроекологічної, антропоцентричної складових, які характеризуються базовими екологічними показниками. Зазначається, що стан екологічної безпеки агросфери визначається факторами: стимуляторами, що справляють позитивний вплив на її стан, та дестимуляторами, які, навпаки, негативно впливають на стан агросфери. Рекомендується виділити наступні критерії екологічної безпеки агросфери: екологічної безпеки (показники ресурсної, агроекологічної, антропоцентричної складових агросфери підтримуються наближеними за значеннями до оптимальних); екологічного ризику (показники складових агросфери мають незначні відхилення від оптимальних); екологічної загрози

(деякі показники складових агросфери мають суттєві відхилення від оптимальних, але зберігається можливість відновлення їх до попередніх (або близьких) параметрів; екологічної небезпеки (показники складових агросфери погіршились до меж, коли їх відновлення до попередніх параметрів стає майже неможливим).

Розроблена схема діагностики екологічної безпеки агросфери, яку доцільно здійснювати за чотирма етапами (рис. 1).

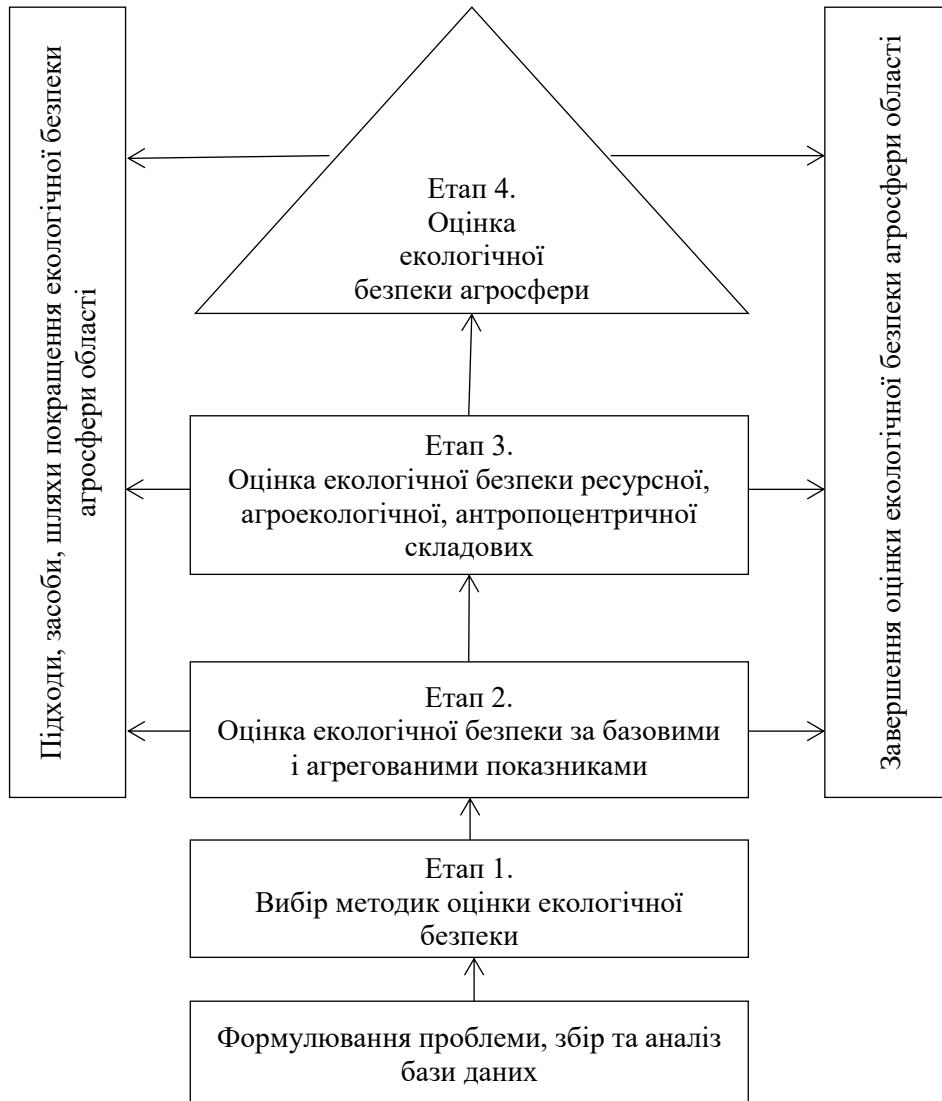


Рис. 1. Схема поетапної оцінки екологічної безпеки агросфери області

На заключному етапі оцінювання екологічної безпеки агросфери базові агреговані блокові показники інтегрують в індекси екологічної безпеки, за якими з використанням шкали, а саме: 1,0-0,6835 – безпека, 0,6835-0,4851 – ризик, 0,4851-0,1902 – загроза, 0,1902-0 – небезпека і визначають її стан [477].

Рекомендується розраховувати унормовані показники екологічної безпеки

ресурсної, агроекологічної, антропоцентричної складових у шкалу від 0 до 1,0 за залежностями, які мають вид: а саме: для показників стимуляторів – зростаючих парабол другого порядку; для дестимуляторів – спадаючих парабол другого порядку.

Слід зазначити, що на кожному етапі оцінки екологічної безпеки агросфери вона може бути завершеною, і за кількісними та якісними показниками ЕБ можуть розроблятися засоби та шляхи її покращення.

Інноваційна технологія забезпечення екологічної безпеки агросфери області – це дорожня карта, що містить підходи, засоби, шляхи, процедури, необхідні для усунення або пом'якшення дії дестимуляторів та підтримання дії стимуляторів.

Реалізовувати дорожню карту покращення ЕБ агросфери області пропонується на результатах встановлених індикаторів ЕБ агросфер районів, їх типології та обґрунтованих стратегічних пріоритетах (табл. 1).

При цьому слід зазначити, що при обґрунтуванні стратегічних пріоритетів забезпечення екологічної безпеки агросфер слід дотримуватися наступних вимог, а саме: здійснювати обґрунтування за результатами діагностики екологічної безпеки ресурсної, агроекологічної, антропоцентричної складових; зменшення рівня антропогенного навантаження на довкілля агросфери, збалансованого використання її природно-ресурсного потенціалу та підтримання безпечного і сприятливого середовища проживання населення; фокусування та концентрація зусиль у вирішенні найважливіших завдань, спрямованих на усунення дії дестимуляторів та посиленні дії стимуляторів ресурсної, антропоцентричної, агроекологічної складових; гнучкість та можливість їх адаптації до нових умов (об'єднання районів), (табл. 1).

Таблиця 1.

Типізація агрофер районів зі індексами екологічної безпеки (Ієб.)

№ з/п	Стан індексів екологічної безпеки агрофер районів	Пріоритети покращення Ієб	
		інтегровані	Базові і агреговані
1.	Рівні Ієб ресурсної складової нижчі середнього, а агроекологічної і антропоцентричної – вищі середньорайонних Костопільський 0,41; 0,76; 0,45 0,54 Здолбунівський 0,45; 0,74; 0,46 0,55	Ресурсна	Костопільський: розораність 0,18; баланс гумусу 0,23; якість питної води за хімічними показниками 0,17, мікробіологічними 0,08 Здолбунівський: розораність 0,24; якість питної води за хімічними показниками 0,31, мікробіологічними 0,26, викиди забруднюючих речовин 0,13
2.	Рівні Ієб ресурсної та агроекологічної складових нижчі середнього, а антропоцентричної – вищі середньорайонних Володимирецький 0,45; 0,67; 0,48 0,53	Ресурсна, агроекологічна	Володимирецький: ресурсна розораність 0,35; баланс гумусу 0,11; якість питної води за хімічними показниками 0,18, мікробіологічними 0,07; агроекологічна- рівень родючості 0,55, радіаційного стану 0,58.
3.	Рівні Ієб ресурсної та антропоцентричної складових нижчі середнього, а антропоцентричної – вищі середньорайонних Гоцанський 0,43; 0,78; 0,40 0,54 Демидівський 0,45; 0,75; 0,41 0,54 Рівненський 0,43; 0,78; 0,44 0,55	Ресурсна, антропоцентрична	Гоцанський: ресурсна - розораність 0,11; лісистість 0,34; якість питної води за хімічними показниками 0,26, мікробіологічними 0,10 антропоцентрична – поширеність хвороб органів дихання 0,23, сметність малюків до 1-го року 0,42. Демидівський : ресурсна - площі лук і пасовищ 0,37; розораність 0,12; якість питної води за хімічними показниками 0,38, мікробіологічними 0,24 Рівненський : ресурсна – площа лук і пасовищ 0,39; розораність 0,23; лісистість 0,34; якість питної води за хімічними показниками 0,14, мікробіологічними 0,20 антропоцентрична – поширеність хвороб органів дихання 0,13.
4.	Рівні Ієб ресурсної, агроекологічної та антропоцентричної складових нижчі середньорайонних Сарненський 0, 51; 0,72; 0,42 0,55	Ресурсна, агроекологічна, антропоцентрична	Сарненський: ресурсна-розораність 0,39; якість питної води за хімічними показниками 0,17, мікробіологічними 0,09; агроекологічна – рівень родючості 0,61; антропоцентрична – поширеність хвороб органів дихання 0,20, травлення 0,43

Продовження таблиці 1

5.	Рівні Ієб ресурсної та агроекологічної складових вищі і середнього, а антропоцентричної – нижчі середньорайонних Корецький 0,56; 0,73; 0,41 Млинівський 0,55; 0,75; 0,41 Острозький 0,64; 0,76; 0,39	Антропоцентрична	Корецький: антропоцентрична – поширеність хвороб органів дихання 0,32, сметність малюків до 1-го року 0,29. Млинівський: антропоцентрична – поширеність хвороб органів дихання 0,23, сметність малюків до 1-го року 0,38. Острозький: антропоцентрична – поширеність хвороб органів дихання 0,23, сметність малюків до 1-го року 0,32.
6.	Рівні Ієб ресурсної та агроекологічної складових вищі і середнього, а антропоцентричної та агроекологічної – нижчі середньорайонних Березнівський 0,58; 0,72; 0,43	Агроекологічна, антропоцентрична	Березнівський: антропоцентрична – поширеність хвороб органів дихання 0,31, сметність малюків до 1-го року 0,46, органів травлення 0,46; агроекологічна – рівень родючості 0,53.
7.	Рівні Ієб ресурсної та антропоцентричної складових вищі середнього, а агроекологічної – нижчі середньорайонних Дубровицький 0,61; 0,65; 0,48 Зарічненський 0,62; 0,71; 0,53 Рокитнівський 0,62; 0,64; 0,48 Радивилівський 0,57; 0,70, 0,48	Агроекологічна	Дубровицький: агроекологічна-екологічна стійкість 0,66; радіаційний стан 0,46 Зарічненський: агроекологічна-рівень родючості 0,60; радіаційний стан 0,62 Рокитнівський: агроекологічна-рівень родючості 0,63; радіаційний стан 0,27 Радивилівський: агроекологічна-рівень родючості 0,62; радіаційний стан 0,56
8.	Рівні Ієб ресурсної, агроекологічної та антропоцентричної складових вищі середньорайонних значень Дубенський 0,52; 0,725; 0,56	Ресурсна, агроекологічна, антропоцентрична	Дубенський: ресурсна – якість питної води за хімічними показниками 0,34, мікробіологічними 0,29; агроекологічна – радіаційний стан 0,62; антропоцентрична – поширеність хвороб органів дихання 0,54, смертність малюків до 1-го року 0,40

Примітка: середньорайонні показники ресурсної складової – 0,52, агроекологічної – 0,723, антропоцентричної – 4,5.

Відповідно до розрахованих величин індикаторів екологічної безпеки агросфер районів у порівнянні з середньообласними середньоарифметичними, нами було виокремлено вісім груп агросфер районів, які відрізнялися один від другого за трьома ознаками величин індексів екологічної безпеки ресурсної, антропоцентричної, агроекологічної складових (див. табл. 1).

На підставі цієї типізації агросфер районів, за поєднанням трьох індексів, що характеризують рівні і стан їх екобезпек, ми сформулювали наступні стратегічні пріоритети покращення їх екологічної безпеки, а саме: покращення індексів і станів екологічної безпеки ресурсної складової, покращення індексів і станів агроекологічної складової, покращення індексів і станів антропоцентричної складової, покращення індексів і станів ресурсної, антропоцентричної та агроекологічної складових.

Покращення індексів і станів екологічної безпеки агросфер районів ресурсної складової рекомендується здійснювати за базовими показниками, а саме: зменшувати дію дестимуляторів, в т. ч. розораності територій, якості питної води за хімічними і мікробіологічними показниками, балансу гумусу та підвищувати дію стимуляторів, в т. ч. збільшувати площі лук і пасовищ, лісів. Реалізувати ці пріоритети доцільно для агросфер районів типів 1, 2, 3, 4, а у чистому вигляді для агросфери 1.

Покращення індексів і станів екологічної безпеки агросфер районів агроекологічної складової рекомендується здійснювати за базовими і агрогованими показниками, а саме: зменшувати дію дестимуляторів, в т. ч. радіаційного стану (надходження цезію-137 до сільськогосподарської продукції і радону у будинки жителів) та підвищувати дію стимуляторів, в т. ч. екологічну стійкість (підвищувати вміст гумусу і зменшувати кислотність ґрунтів), рівень родючості (вміст лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору і обмінного калію). Реалізувати ці пріоритети доцільно для агросфер районів типів 2, 4, 6, 7, а у чистому вигляді – для агросфери 7.

Покращення індексів і станів екологічної безпеки агросфер районів

антропоцентричної складової рекомендується здійснювати за базовими показниками, а саме: зменшенням дії дестимуляторів, в т. ч. поширеності хвороб органів дихання, травлення, смертності малюків до 1-го року, народжених живими. Реалізувати ці пріоритети доцільно для агросфер районів типів 3, 4, 5, 6, а у чистому вигляді – для агросфери 5.

Покращення індексів і станів екологічної безпеки агросфери району, який за індексом екологічної безпеки ресурсної, агроекологічної, антропоцентричної складових має вищі за середньорайонні значення цього показника рекомендується здійснювати шляхом переведення його індексу і стану з ризикового стану у стан безпеки шляхом зведення дії дестимуляторів до мінімальних проявів та підвищенням дії показників стимуляторів. Реалізувати цей пріоритет можливо у чистому вигляді для агросфери 8.

У заключення слід зазначити, що для агросфер районів, що знаходяться на момент їх оцінювання в екологічно ризикованому стані, у перспективі можливі зміни станів їх екологічної безпеки у двох напрямках: покращення їх станів до екологічно безпечного та погіршення до екологічно загрозливого або небезпечного станів.

Для агросфер районів Рівненської області, які перебувають на період 2010-2015 років у стані ризику, спільною рисою є наявність незначної кількості показників дестимуляторів, що потребують покращення їх кількісних і якісних параметрів для досягнення стану екологічної безпеки – безпека.

Відтак, пропонуємо для досягнення у перспективі для агросфери області екологічно безпечного стану застосовувати дисипативну стратегію (від лат. *dissipatio* – розсіюю), сутністю якої є орієнтація на своєчасне і оперативне виявлення та усунення дії дестимуляторів, які можуть спричинити негативний вплив на забезпечення її екологічної безпеки.

Одночасно доцільно підтримувати і, по можливості, покращувати кількісні та якісні показники стимуляторів ресурсної, агроекологічної, антропоцентричної складових, що посприє переходу агросфери області із стану ризику до стану безпека.

Технологію покращення стану екологічної безпеки агросфери області доцільно поділяти на технології покращення станів ресурсної, агроекологічної та антропоцентричної складових.

Покращення екологічної безпеки ресурсної складової рекомендується здійснювати на етапі 2 шляхом пом'якшення дії дестимуляторів, а саме: розорюваності ґрунтів 6-ти районів зони Лісостепу з показників ЕБ діапазону (0,11-0,19) – небезпека до діапазону (0,1902-0,4851) – загроза за рахунок збільшення у цих районах площ лук і пасовищ та лісів і лісовкритих площ на схилових ділянках і деградованих водною ерозією угіддях; зменшення від'ємного балансу гумусу в орних землях 3-х районів з показників ЕБ діапазону (0,11, 0,23, 0,33) – небезпека, загроза до діапазону (0,4851-0,6835) – ризику шляхом внесення під сільськогосподарські культури органічних добрив в диференційованих нормах, розрахованих за залежністю, яка має вид прямої:

$$y_1=0,0529x_1-0,74, \quad R^2=0,732 \quad (1),$$

де y_1 – баланс гумусу, т/га, x_1 – норма органічних добрив, т/га.

Згідно прогнозу, для формування нульового балансу гумусу в орні землі району з від'ємним балансом гумусу -0,74 т/га потрібно вносити щорічно 14 т/га органічних добрив; зменшенням процентів невідповідності якості питної води нормативам за хімічними та мікробіологічними показниками з показників: за хімічними показниками ЕБ 4-х районів з діапазону (0,14; 0,17; 0,18) – небезпека до діапазону (0,1902-0,4851) – загроза за мікробіологічними показниками ЕБ 4-х районів діапазону (0,07; 0,08; 0,09; 0,10) – небезпека, до діапазону (0,1902-0,4851) – загроза, за рахунок примінення технологій і заходів, представлених у табл. 2, а також переведення населення на централізоване водопостачання.

Покращення екологічної безпеки агроекологічної складової рекомендується здійснювати на етапі 2 шляхом мінімізації дії дестимуляторів, а саме: зменшенням ризику надходження радону до приміщень будинків у зоні Лісостепу з показників ЕБ 7 районів діапазону (0,17; 0,28; 0,31; 0,36; 0,38; 0,39) – небезпека, загроза до діапазону (0,4851-0,6835) – ризику приміненням технологій і заходів, представлених у таблиці 3; мінімізації надходження цезію-

137 до рослинницької і тваринницької продукції, яку споживає населення, що проживає у деяких районах зони Полісся з показників ЕБ 4 райони діапазону (0,15; 0,18; 0,35; 0,38) – небезпека, загроза до діапазону (0,4851-06835) – ризику примінення технологій і заходів, представлених у таблиці 3.

Таблиця 2.

Технології покращення якості питної води децентралізованих джерел водопостачання

Перелік показників впливу на поширеність хвороб	Причини появи показників, які погіршують якість питної води	Технології і заходи покращення ЕБ агросфер районів
Наявність у питній воді нітратів, нітритів, аміаку, мікроорганізмів, вірусів	Для джерел децентралізованого водопостачання виступають невідповідність розташування та облаштування громадських і приватних колодязів санітарним нормам і правилам експлуатації (ДСПІН 2.2.4-171-10№452/17747;2010) внаслідок їхнього розміщення неподалік вбиралень, вигрібних ям, мереж каналізації, місць утримань худоби, відсутності навколо колодязів «замка» з глини.	1. Паспортизація джерел децентралізованого водопостачання. 2. Щорічна очистка джерел децентралізованого водопостачання(колодязів). 3. Дезінфекція колодязів. 4. Облаштування «замків» навколо колодязів. 5. Санація колодязів. 6. Використання для очистки питної води систем: фільтрів, ультрафільтрації, зворотного осмосу. 7. Застосування побутових способів очистки питної води: виморожування; кип'ятіння, відстоювання, відстоювання із використанням сорбентів.

Таблиця 3.

Технології покращення радіаційного стану агросфери області

Показник впливу на ЕБ агросфери	Способи впливу показників на поширеність хвороб	Технології і заходи покращення ЕБ агросфери районів
ГПР 0-25 мБк/(м ² *с)	Надходжень радону до будинків низький ризик, рак трахей, бронхів і легень	Заходи при проектуванні систем протирадонного захисту: цегляні, дерев'яні або інші будинки з бетонованим підвалом – природна вентиляція, отвори в цокольних стінах; багатоквартирні будинки з бетонованим підвалом – примусова вентиляція
ГПР від 25 до 50 мБк/(м ² *с)	Надходження радону до приміщень будинків, середній ризик, рак трахей, бронх, легень	Заходи для будинків приватного сектору – захисний шар з бетону, цементно-піщаного розчину; для багатоквартирних будинків з бетонованим підвалом – захисний шар з бетону, захисний шар цементно-піщаного розчину, шари рулонного гідроізоляційного матеріалу

Продовження таблиці 3

ГПР від 50 до 75 мБк/(м ² *с)	Надходження радону до приміщень будинків, вищий за середній ризик, рак трахей, бронх, легень	Заходи для будинків приватного сектору – бар'єр + мембрана(покриття) + колектор радону + депресія колектора шляхом природної витяжки радону; для багатоквартирних будинків з бетонованим підвалом - бар'єр + мембрана(покриття) + колектор радону + депресія колектора шляхом природної витяжки радону, шари рулонного гідроізоляційного матеріалу
ГПР більше 75 мБк/(м ² *с)	Надходження радону до приміщень будинків, високий ризик, рак трахей, бронх, легень	Пропонується не проводити забудову
Вміст цезію-137 в ґрунтах, 1-2 Кі/км ²	Споживання рослинницької і тваринницької продукції з перевищенням вмісту цезію-137 ДР-2006	Заходи зменшення міграції цезію-137 по ланцюгам живлення шляхом регулювання: водного режиму ґрунтів(осушення перезволожених, зрошення переосушених); поживного режиму шляхом внесення органічних добрив, азотно-фосфатних і підвищених норм калійних мінеральних добрив, вапнування ґрунтів(1 раз на 10 років). Переробка молока з вмістом цезію -137 понад 100 Бк/л на сметану або масло.

Примітка: ГПР – густина потоку радону з поверхні ґрунту.

Покращення екологічної безпеки антропоцентричної складової рекомендується здійснювати на етапі 2 шляхом запобігання дії дестимуляторів, а саме: зменшенням показників поширеності хвороб органів дихання з показників екологічної безпеки (0,1902 до 0,4851) – загроза до діапазону (0,4851-0,6835) – ризик за рахунок збільшення лісистості агрофер районів зони Лісостепу та зменшення викидів забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел; смертності дітей до 1-го року народжених живими з показників екологічної безпеки (0,1902-0,4851) загроза до діапазону (0,4851-0,6835) – ризик за рахунок споживання матерями якісної питної води (див табл. 2).

На третьому етапі визначають рівні екологічної безпеки ресурсної, агроекологічної, антропоцентричної складових агрофер області. За результатами діагностики екологічної безпеки агрофер області найвищі індекси ЕБ були встановлені для агроекологічної складової (0,723), середні – для ресурсної (0,52), найнижчі – для антропоцентричної (4,5). Відповідно до цього,

стратегічними цілями (пріоритетами) сталого розвитку області доцільно обирати, насамперед, покращення ЕБ антропоцентричної складової з діапазону 0,39-0,48 до діапазону 0,4851-0,6835 на основі стабілізації та поступового покращення екологічної ситуації з урахуванням усіх можливих впливів дестимуляторів.

На четвертому етапі за індексами ЕБ визначають рейтинги агросфер районів.

За результатами діагностики екологічної безпеки агросфер районів області було встановлено, що найвищий індекс екологічної безпеки мали Зарічненський (0,62), Лубенський (0,60), Острозький (0,60), а найнижчі – Володимирецький (0,53), Костопільський (0,54), Гощанський (0,54), Демидівський (0,54) райони. (див. табл. 1). Індеси екологічної безпеки інших агросфер районів змінювалися в межах значень від 0,55 до 0,58. За індексами екологічної безпеки від 0,53 до 0,62 агросфери районів оцінюються категорією екологічної безпеки-ризик. При цьому слід зазначити, що ситуація для всіх агросфер районів в області не є ідеальною, оскільки найвищі значення індексів ЕБ не перевищують значень 0,62, що ще далеко від еталонних значень (1,0-0,6835) – безпека, а, відповідно, це вимагає вжиття заходів запобігання погіршення екологічної ситуації в агросфері області та пошуків інструментарію її покращення.

Таким чином, за індексом і станом екологічної безпеки агросфер районів реалізований матричний підхід, який забезпечив їх розподіл за кількісними показниками на вісім типів, у відповідності з якими запропоновані чотири пріоритетні напрямки покращення їх екологічної безпеки за показниками ресурсної, агроекологічної та антропоцентричної складових.

Запропоновано, що стратегічними пріоритетами екологічної безпеки агросфер районів є поліпшення їх індексів і станів складових: ресурсної – Костопільський, Здолбунівський, Володимирецький, Гощанський, Демидівський, Рівненський, Сарненський райони; агроекологічної – Володимирецький, Сарненський, Березнівський, Дубровицький, Зарічненський, Рокитнівський, Радивилівський райони; антропоцентричної – Гощанський,

Демидівський, Рівненський, Сарненський, Корецький, Млинівський, Острозький, Березнівський райони; ресурсної, агроекологічної, антропоцентричної – Дубенський район.

Базовою стратегією покращення екологічної безпеки агросфер районів області доцільно обрати дисипативну (розсіюючу) стратегію, сутнісністю якої є орієнтація на своєчасне виявлення та усунення дії дестимуляторів, які погіршують стан екологічної безпеки та посилення дії стимуляторів, які покращують стан екобезпеки.

Реалізовувати дорожню карту покращення ЕБ агросфери області пропонується за результатами встановлених індикаторів ЕБ, агросфер районів, їх типології та обґрунтованих стратегічних пріоритетах.

SECTION 9. MECHANICAL ENGINEERING

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.9.1

9.1 Algorithm for calculating the vibration resistance of shafts of mechanical mixing devices**INTRODUCTION**

A significant amount of damage to parts of modern machines and their structures is due to stresses arising from oscillations. Vibration load can cause damage, especially in the formation of resonant states. Shafts of mechanical mixing devices (MMDs) are exposed to this kind of danger. Therefore, when designing them, it is important to correctly choose the design schemes for the various options for securing the shaft in bearings.

Depending on the location of the bearings, the shafts are divided into single-span and cantilever. Most often, the shafts are considered as straight statically defined rods, fixed in hinged supports and subjected to deflection (bending) by specified stresses. The accuracy of determining the diameters of vibration-resistant shafts is determined by methods of taking into account the geometric and physical parameters of the shaft: size, weight, location of supports, the number of stirrers and points of attachment to the shaft.

The best results are given by calculation of shafts on vibration resistance method by acad. Krylov O.M., which, however, is extremely difficult if the number of concentrated masses on the shaft is more than one. Therefore, for engineering calculations use the method of reduction, developed by acad. Szymanski Yu. O. Calculation by the method of reduction is performed by successive approximations, which is greatly facilitated by the use of computers.

The monograph considers the algorithm for calculating the vibration resistance of rigid single-span shafts, rigid and flexible cantilever smooth shafts, rigid cantilever step MMD shafts. To solve such an algorithm needed:

- to study (know) the design of the MMDs and the method of mounting the shaft in the supports;

- to justify the choice of calculation scheme and make it;
- to make an algorithm for calculating the vibration resistance of the MMD shaft;
- to understand and use a computer program according to the calculation algorithm and model

9.1.1 Terms and definitions

The problem of calculating the MMD shafts consists of choosing such modes of its operation and such geometric parameters at which the angular frequency (angular velocity) of the forced oscillations of the shaft ω would be in the right ratio with the frequency of its natural oscillations.

Intrinsic (free) are oscillations that occur in an isolated system due to external excitation (shock), which causes at the points of the system initial deviations from equilibrium or initial velocities and those that continue due to the presence of internal elastic forces that establish equilibrium.

Consider a MMD shaft having one pivot resistance at point A in the form of a ball bearing that receives radial and axial stresses, and a pivot bearing at point C in the form of a ball bearing that receives radial stress and that can be displaced in the axial direction (Fig. 1, a-c). An example of the natural oscillations of such a shaft will be transverse (bending) oscillations, if the mass m is applied a force F in the form of a shock in the direction perpendicular to the shaft.

Since the energy that caused (excited) the oscillation process came from the outside only at the initial moment, the nature of the natural oscillations is determined by the internal elastic forces of the shaft, which depend on its physical and geometric structure. The amplitude of such oscillations depends on the shock force, and the frequency, which is called the **natural oscillation frequency**, depends only on the properties of the shaft. Thus, the natural frequency of the system, which is determined by the physical structure and geometric parameters, should also be considered as a property or characteristic of the system.

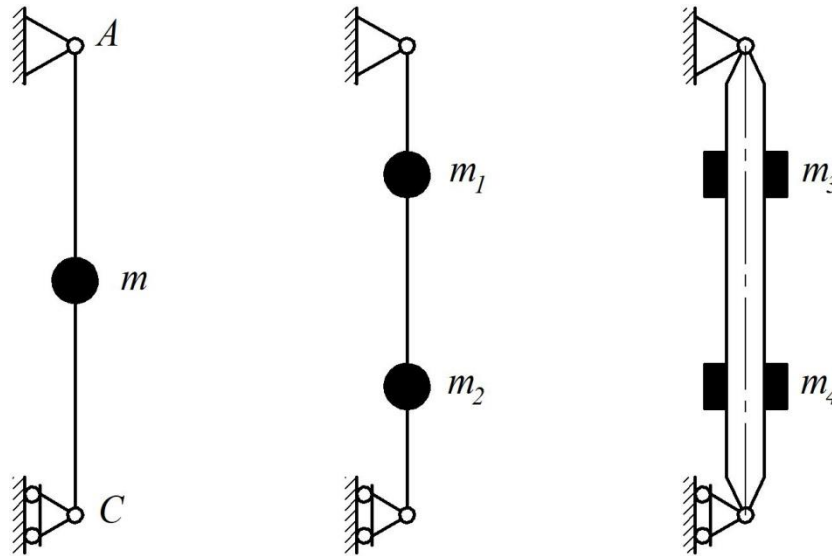


Fig. 1 Scheme to determine the number of degrees of freedom of the oscillating system (MMD shaft)

Oscillations of an elastic system that occur during continuous action on a system of given external, periodically changing perturbing forces acting independently of oscillations in the system are called **forced**. The parameters of the process of forced oscillations depend on both the properties of the system and external forces.

Any elastic system that oscillates at any given time is located in space, which is determined by the number of independent parameters of the oscillating system is called the **number of degrees of freedom**. Thus, a shaft whose mass can be neglected in relation to the concentrated mass m (Fig. 1, a) has one degree of freedom. The same shaft, but with masses m_1 and m_2 (see Fig. 1, b), has two degrees of freedom, because the parameters mentioned here - the movement of masses m_1 and m_2 relative to the equilibrium position. A shaft whose mass cannot be neglected in comparison with the masses m_3 and m_4 (see Fig. 1, c) is a system with an infinite number of degrees of freedom [478].

9.1.2 Guidelines for calculating the natural oscillation frequency of a weightless MMD shaft with one degree of freedom

A beam loaded with the same forces and having the same supports as the shaft can be taken as the design scheme of a shaft with a mixing device (Fig. 2).

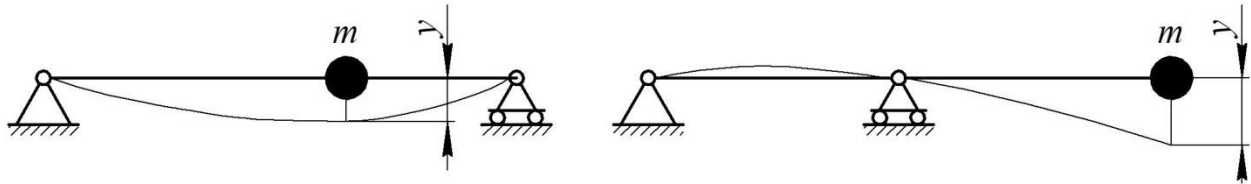


Fig. 2 Calculation scheme: a – single-span shaft; b – cantilever shaft

In the absence of friction forces for any shaft structure with one degree of freedom, the differential equation of its oscillating motion (bending oscillation) has the form

$$m \cdot \ddot{y} + k \cdot y = 0 \quad (1)$$

Where m is the concentrated mass of the cargo; \ddot{y} is the second derivative of mass displacement m in time (acceleration); k is the stiffness coefficient of the shaft, which is a static force that causes a single displacement of the mass m ; y is the coordinate of the oscillating mass subtracted from its mean position.

Denoting $\omega_c^2 = k/m$ we rewrite the differential equation (1):

$$\ddot{y} + \omega_c^2 \cdot y = 0$$

The solution of which is the following equation

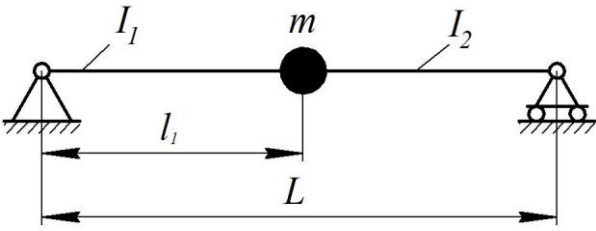
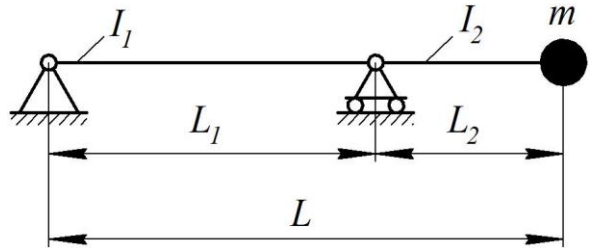
$$y = A \sin(\omega_c t + \phi).$$

Where A is the amplitude of oscillations; the expression $\omega_c t + \phi$ is called **the phase of oscillations**, and ϕ is **the phase shift**. Angular frequency of natural oscillations of the shaft, rad/s (s^{-1}):

$$\omega_c = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1}{m \cdot \delta_{11}}} \quad (2)$$

Where δ_{11} is the displacement of the mass m (**deflection of the shaft**) from the unit transverse force applied at the point of attachment of the mass m , or **the coefficient of influence**. In the table. 1 shown the calculated dependences for determining the coefficients of influence δ_{11} of weightless shafts with one degree of freedom [479].

Table 1 Coefficient of influence δ_{11} for shafts with one concentrated mass

Settlement schemes	Estimated dependencies
	$\delta_{11} = \frac{l_1^3(L-l_1)^2}{3E \cdot I_1 \cdot L^2} + \frac{l_1^3(L-l_1)^3}{3E \cdot I_2 \cdot L^2}$ <p>For</p> $I_1 = I_2 = I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ $\delta_{11} = \frac{l_1^2(L-l_1)^2}{3E \cdot I \cdot L}$
	$\delta_{11} = \frac{L \cdot L_1^2}{3E \cdot I_1} + \frac{L_1^3}{3E \cdot I_2}$ <p>For</p> $I_1 = I_2 = I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ $\delta_{11} = \frac{L_2 \cdot L_1^2}{3E \cdot I}$

Knowing the frequency of natural oscillations, you can find **the period of natural oscillations** (time of one complete oscillation):

$$T = \frac{2\pi}{\omega_c} = 2\pi \sqrt{m \cdot \delta_{11}}$$

The value inverse to the period of oscillations determines the number of oscillations per unit time (second) and is called **the second frequency**

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega_c}{2\pi}$$

9.1.3 Instructions for calculating the critical angular velocity and vibration resistance condition of a smooth weightless shaft with one degree of freedom

The practice of operation of machines, including devices with MMD, shows that rotating shafts at specific angular speeds for these machines, falling into resonance, become dynamically unstable: there are large transverse oscillations (deflections) of the shafts and even the possibility of their destruction. The angular velocity of rotation of the shaft at which the resonance phenomenon occurs is called **the critical angular**

velocity ω_{CR} . To find it, consider a two-support vertical shaft (Fig. 3, a), in the middle of which is a disk of mass m , planted with eccentricity e (when assembling a disk with a shaft, the eccentricity of landing is almost inevitable).

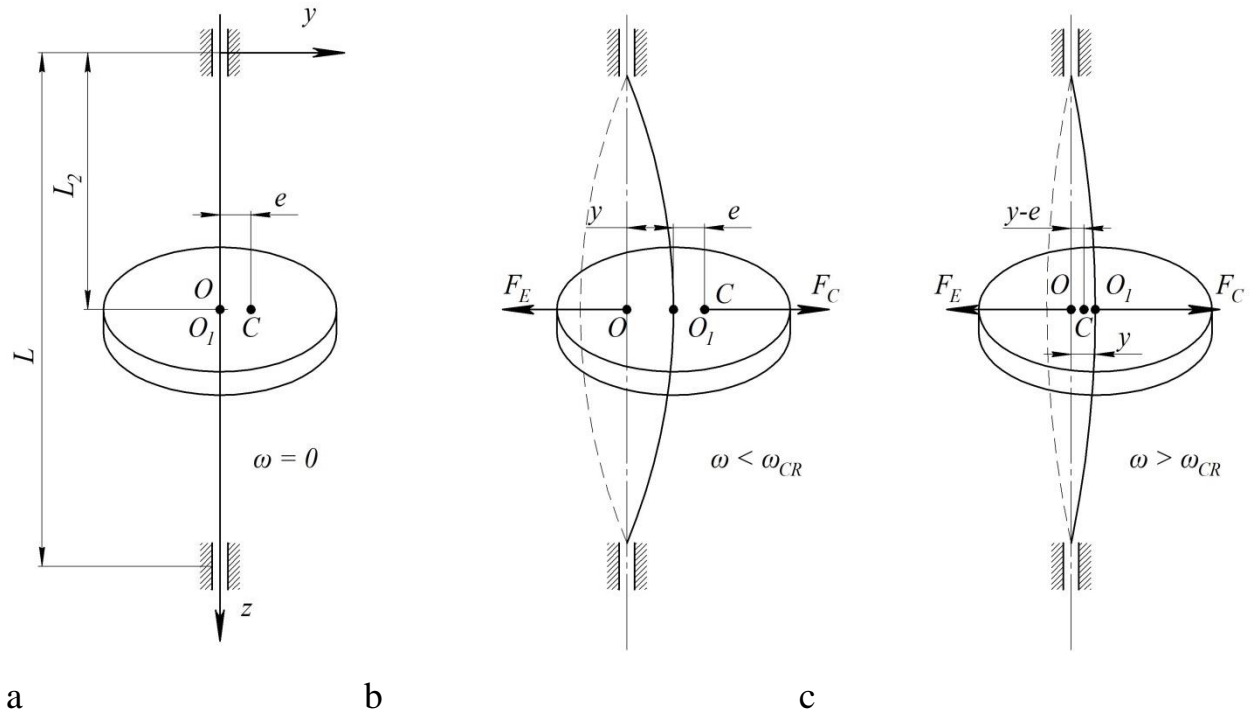


Fig.3. Scheme of the center of inertia of the disk (point C), fixed inside a single-span shaft: a – non-rotating; b and c – rotating according to the angular velocity $\omega < \omega_{CR}$ and $\omega > \omega_{CR}$

In Fig.3 point C corresponds to the center of inertia of the disk, point O – the intersection of the bearing axis with the middle surface of the disk. When the shaft rotates around its axis with an angular velocity ω , its axis bends under the action of the centrifugal force F_c on the value of y (Fig. 3, b). The curved axis of the shaft rotates around the axis of the bearings with the same angular velocity ω , such rotation of the shaft is called **direct synchronous precession**.

The centrifugal force applied in the center of inertia of the disk:

$$F_C = m \cdot \omega^2 (y + e)$$

In the opposite direction from the side of the shaft on the disk acts **the force of elasticity** applied at point O_1 :

$$F_E = K \cdot y = \frac{y}{\delta_{11}}$$

Where the shaft stiffness coefficient at the symmetrical arrangement of the disk $K=1/\delta_{11}=48EI/L^3$ (E - modulus of longitudinal elasticity of the shaft material); I, L - respectively, the moment of inertia of the cross section of the shaft and its length.

Equating F_C and F_E , we get

$$m \cdot \omega^2 (y + e) = \frac{y}{\delta_{11}},$$

Whereof

$$y = \frac{\omega^2 \cdot l}{\frac{1}{m \cdot \delta_{11}} - \omega^2}.$$

Given that $1/(m \cdot \delta_{11})$ is the square of the angular frequency ω_c of free oscillations, we rewrite the last formula in the form

$$y = \frac{l}{\frac{\omega_c^2}{\omega^2} - 1}.$$

From the obtained equality it follows that for $\omega_c/\omega \rightarrow 1$ the deflection of the shaft $y \rightarrow \infty$. Hence the conclusion that the critical angular velocity of the rotating shaft is equal to the angular frequency of its natural oscillations:

$$\omega_{CR} = \omega_c = \sqrt{\frac{1}{m \cdot \delta_{11}}}.$$

The above calculations are made without taking into account the resistance to rotation of the environment. In real devices, when energy is lost to overcome this resistance, the shaft's resonance does not always lead to destructive deflections.

It is known from experiments that at $\omega > (\omega_{CR} = \omega_c)$ the deflections of the shaft begin to decrease and the center of inertia of the disk C is located between the axis of the bearings and the curved axis of the shaft (Fig. 3, b - between points O and O_1). When the disk rotates at supercritical speed, its centrifugal force of inertia

$$F_C = m \cdot \omega^2 (y - e).$$

Equating F_y to the force of elasticity of the shaft F_E and solving the obtained equation with respect to y , we find

$$y = \frac{l}{1 - \frac{\omega_c^2}{\omega^2}}.$$

As can be seen from the last formula, when the shaft rotates at a speed much higher than the critical one ($\omega \geq \omega_c$), $y \rightarrow e$, and the shaft becomes dynamically stable again.

Restoration of shaft stability at supercritical speed occurs as a result of Coriolis acceleration at the moment when the center of inertia of the disk begins to move in the radial direction from point C. Under Coriolis forces point O_1 begins to move in the direction perpendicular to the radius, and eventually comes to a position on the other side of point C.

If the working speed of the shaft is less than critical, the shaft is called **rigid**, otherwise - **flexible**. The working speed of the shaft ω should be significantly different from the critical, and the condition of vibration resistance of the shaft is:

For rigid shaft

$$\omega \leq 0,7\omega_{CR};$$

For flexible shaft

$$\omega \geq 1,3\omega_{CR}.$$

When designing flexible shafts provide rapid passage of critical speed in order to reduce resonant deflections. This, however, requires the installation of high-power engines that provide rapid acceleration and powerful brakes that stop the shaft abruptly.

9.1.4 Instructions for calculating the natural oscillation frequency of a smooth weightless shaft with two or more degrees of freedom

Consider a system that is a shaft in section 1 of which is a disk of mass m_1 , and in section 2 - a disk of mass m_2 (Fig. 4). Due to the eccentricities e_1 and e_2 of the disks on the shaft when the system rotates with an angular velocity ω , centrifugal forces F_{C1} and F_{C2} occur, causing the shaft to bend.

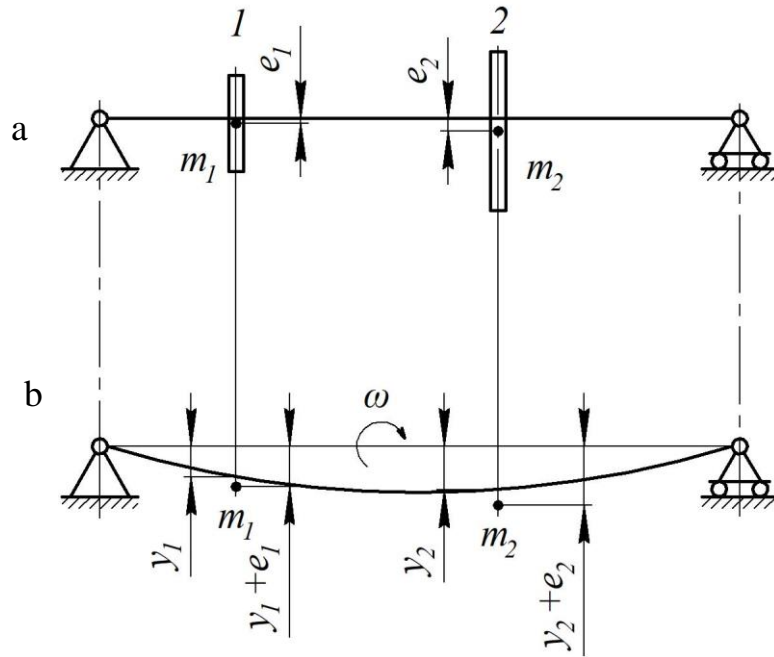


Fig. 4 Scheme of a horizontal shaft with two disks: a – without rotating; b – at rotating

From the condition of elastic equilibrium of the curved shaft we determine the deflections (bends) y_1 in section 1 and y_2 in section 2 from the action of centrifugal forces:

$$\begin{cases} y_1 = \delta_{11} \cdot F_{C1} + \delta_{12} \cdot F_{C2}; \\ y_2 = \delta_{21} \cdot F_{C1} + \delta_{22} \cdot F_{C2}. \end{cases} \quad (3)$$

Where δ_{11} , δ_{12} – deflection (coefficient of influence) in section 1 of the unit centrifugal force caused by the rotation of the mass m_1 and m_2 , respectively; δ_{21} , δ_{22} – deflection in section 2 of the unit centrifugal force caused by the rotation of the mass m_1 and m_2 , respectively. As is known from the reciprocity theorem $\delta_{12} = \delta_{21}$. Substitute the values of F_{C1} and F_{C2} into system (3) and write them down

$$\begin{cases} y_1 = \delta_{11} \cdot m_1 \cdot \omega^2 (e_1 + y_1) + \delta_{12} \cdot m_2 \cdot \omega^2 (e_2 + y_2) \\ y_2 = \delta_{21} \cdot m_1 \cdot \omega^2 (e_1 + y_1) + \delta_{22} \cdot m_2 \cdot \omega^2 (e_2 + y_2) \end{cases}$$

Grouping members with unknowns y_1 and y_2 , we finally get

$$\begin{cases} y_1 (\delta_{11} \cdot m_1 \cdot \omega^2 - 1) + y_2 \cdot \delta_{12} \cdot m_2 \cdot \omega^2 = -\omega^2 (\delta_{11} \cdot m_1 \cdot e_1 - \delta_{12} \cdot m_2 \cdot e_2) \\ y_1 \cdot \delta_{21} \cdot m_1 \cdot \omega^2 + y_2 (\delta_{22} \cdot m_2 \cdot \omega^2 - 1) = -\omega^2 (\delta_{21} \cdot m_1 \cdot e_1 - \delta_{22} \cdot m_2 \cdot e_2) \end{cases}$$

In order for a system of n linear homogeneous equations with n unknowns to have non-zero roots, it is necessary that the determinant consisting of the coefficients for the unknowns in the system of equations be equal to zero. Write the determinant, which consists of the coefficients y_1 and y_2 and equate it to zero:

$$\begin{vmatrix} \delta_{11} \cdot m_1 \cdot \omega^2 - 1 & \delta_{12} \cdot m_2 \cdot \omega^2 \\ \delta_{21} \cdot m_1 \cdot \omega^2 & \delta_{22} \cdot m_2 \cdot \omega^2 - 1 \end{vmatrix} = 0.$$

We open the determinant and obtain the frequency equation corresponding to the case when $\omega = \omega_c = \omega_{cr}$ and the deflections of the shaft increase infinitely:

$$(\delta_{11} \cdot m_1 \cdot \omega_{CR}^2 - 1)(\delta_{22} \cdot m_2 \cdot \omega_{CR}^2 - 1) - \delta_{12}^2 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \omega_{CR}^4 = 0, \quad (4)$$

Whence we define two values of critical angular speed of a shaft (on physical maintenance of a problem we take only positive roots):

$$\omega_{CR1} = \sqrt{\frac{1}{2(\delta_{11} \cdot \delta_{22} - \delta_{12}^2)m_2}} \left[\delta_{11} + \delta_{22} \frac{m_2}{m_1} + \sqrt{\left(\delta_{11} + \delta_{22} \frac{m_2}{m_1} \right)^2 - 4(\delta_{11} \cdot \delta_{22} - \delta_{12}^2) \frac{m_2}{m_1}} \right];$$

$$\omega_{CR2} = \sqrt{\frac{1}{2(\delta_{11} \cdot \delta_{22} - \delta_{12}^2)m_2}} \left[\delta_{11} + \delta_{22} \frac{m_2}{m_1} - \sqrt{\left(\delta_{11} + \delta_{22} \frac{m_2}{m_1} \right)^2 - 4(\delta_{11} \cdot \delta_{22} - \delta_{12}^2) \frac{m_2}{m_1}} \right].$$

As we can see, a system rotating with two degrees of freedom (two concentrated masses) has two critical angular velocities. Similarly, it can be shown for the general case that the number of critical angular velocities is equal to the number of masses fixed on the weightless shaft. However, to determine the critical angular velocities with a degree of freedom greater than two, this method is unacceptable due to the complexity of the calculations. As a method of approximations (approximate) determination of the first critical angular velocity ω_{CR1} of the system with more than one degree of freedom can be calculated by the Donkerley formula:

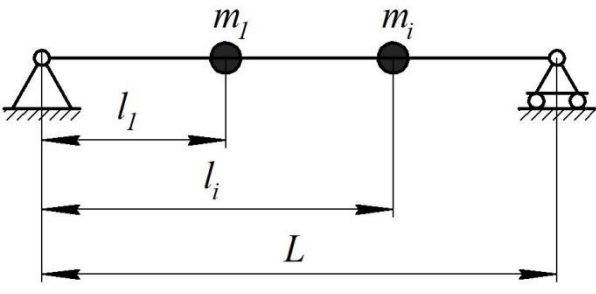
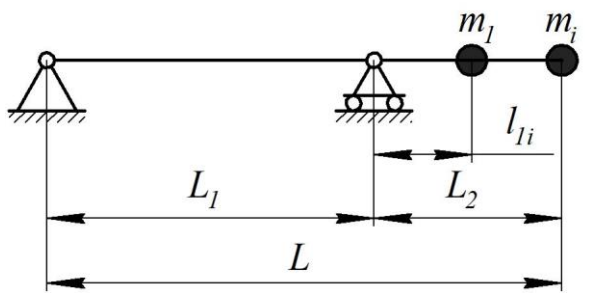
$$\frac{1}{\omega_{CR1}^2} = \frac{1}{\omega_{1CR1}^2} + \frac{1}{\omega_{2CR1}^2} + \frac{1}{\omega_{3CR1}^2} + \dots + \frac{1}{\omega_{iCR1}^2}, \quad (5)$$

Where

$$\omega_{1CR1} = \sqrt{\frac{1}{m_1 \cdot \delta_{11}}}, \omega_{2CR1} = \sqrt{\frac{1}{m_2 \cdot \delta_{22}}}, \dots, \omega_{iCR1} = \sqrt{\frac{1}{m_i \cdot \delta_{ii}}}.$$

Here $\delta_{11}, \delta_{12}, \dots, \delta_{ii}$ – coefficients of influence at installation on a shaft of one i -th disk in the i -th section, their values for single-span and cantilever shafts are given in Table 2 [479].

Table 2 Coefficients of influence $\delta_{11}, \dots, \delta_{ii}$ for weightless shafts with i -th degrees of freedom

Settlement schemes	Estimated dependencies
	$\delta_{11} = \frac{l_1^2(L-l_1)^2}{3E \cdot I \cdot L}; \dots; \delta_{ii} = \frac{l_i^2(L-l_i)^2}{3E \cdot I \cdot L}$
	$\delta_{11} = \frac{L_2 \cdot L_1^2}{3E \cdot I}; \dots; \delta_{ii} = \frac{(L+l_{ii})l_{ii}^2}{3E \cdot I}$

Formulas (2), (4), (5) give only fairly approximate values of the critical angular velocities of the MMD shafts. To avoid destructive resonant phenomena in the calculations it is necessary to take into account the own weight of the shaft.

9.1.5 Instructions for calculating the frequency of natural oscillations of a smooth shaft, taking into account its uniformly distributed mass along the length

Let a smooth single-span shaft of length L rotate in bearings with angular velocity ω (Fig. 5). Take the mass of a unit of its length m_L , then the continuously distributed centrifugal force of inertia, the mass of the rotating shaft is defined as $m_L \omega^2 y$, where y is the deflection of the shaft in the Z coordinate [480, 481]. This force is balanced by the continuously distributed elastic reaction q . From the course of resistance of materials it is known that when bending the rods of a constant length of the section there are relations:

$$D = \frac{dy}{dz}; M = \frac{d^2 y}{dz^2} E \cdot I; Q = \frac{d^3 y}{dz^3} E \cdot I; q = \frac{d^4 y}{dz^4} E \cdot I;$$

Where D , M , Q and q are the angle of rotation of the section, bending moment, transverse force and continuously distributed load in the section with the coordinate Z , respectively. Taking into account q , we write the equilibrium condition of the rotating shaft

$$E \cdot I \frac{d^4 y}{dz^4} = m_L \cdot \omega^2 \cdot y.$$

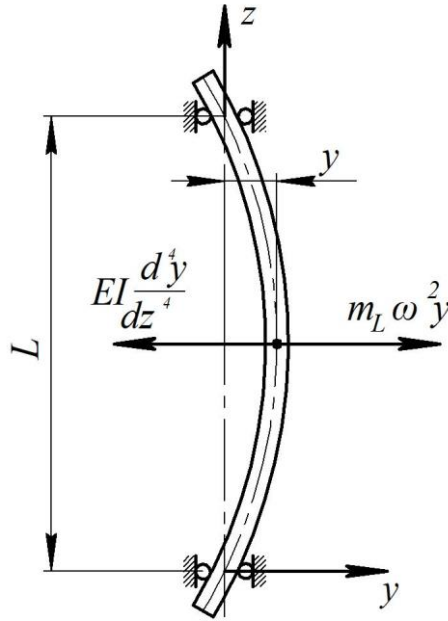


Fig. 5 Scheme of calculation taking into account the influence of the own weight of the shaft on its critical speed

Denoting $m_L \omega^2 / EI = \alpha$, we obtain

$$\frac{d^4 y}{dz^4} - \alpha^4 y = 0. \quad (6)$$

Dependence (6) is a linear homogeneous differential equation of the fourth order with constant coefficients. To find its general solution we will make the characteristic equation

$$K^4 - \alpha^4 = 0. \quad (7)$$

Each real root r_i corresponds to the solution $e^{r_i z}$ of equation (6). If there are complex roots (they can only be conjugate in pairs, for example, $r_1 = a + bi$; $r_2 = a - bi$), then in the corresponding terms of the general equation the functions $e^{r_1 z}$ and $e^{r_2 z}$ should be replaced by $e^{az} \cos bz$ and $e^{az} \sin bz$. For equation (6) the roots of characteristic equation (7) will be

$$K_1 = \alpha; K_2 = -\alpha; K_3 = \alpha i; K_4 = -\alpha i.$$

Then the general solution of equation (6) will take the form

$$y = A_1 \cdot e^{\alpha z} + A_2 \cdot e^{-\alpha z} + A_3 \cos \alpha z + A_4 \sin \alpha z. \quad (8)$$

The constants A_1, A_2, A_3, A_4 are found from the boundary conditions: at $z=0, z=L$ (on the supports) the deflections y and the bending moments $M=(d^2y/dz^2)EI$ are zero:

$$\begin{cases} y(0) = 0; y(L) = 0; \\ \frac{d^2 y(0)}{dz^2} E \cdot I = 0; \frac{d^2 y(L)}{dz^2} E \cdot I = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Define the second derivative of function (8)

$$\begin{cases} y' = A_1 \cdot \alpha \cdot e^{\alpha z} - A_2 \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha z} - A_3 \cdot \alpha \sin \alpha z + A_4 \cdot \alpha \cdot \cos \alpha z; \\ y'' = A_1 \cdot \alpha^2 \cdot e^{\alpha z} + A_2 \cdot \alpha^2 \cdot e^{-\alpha z} - A_3 \cdot \alpha^2 \cos \alpha z - A_4 \cdot \alpha^2 \sin \alpha z. \end{cases} \quad (10)$$

Substitute the boundary conditions (9) in (8) and (10). Since the value of α cannot be zero, we obtain the following system of equations:

$$\begin{cases} A_1 + A_2 + A_3 = 0; \\ A_1 \cdot e^{\alpha L} + A_2 \cdot e^{-\alpha L} + A_3 \cos \alpha L + A_4 \sin \alpha L = 0; \\ A_1 + A_2 - A_3 = 0; \\ A_1 \cdot e^{\alpha L} + A_2 \cdot e^{-\alpha L} - A_3 \cos \alpha L - A_4 \sin \alpha L = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Subtracting the third from the first equation of system (11), we have $2A_3=0, A_3=0$, where $A_1+A_2=0; -A_1=A_2$ and, substituting $A_3=0, A_2=-A_1$ in the second and fourth equations, we obtain

$$\begin{cases} A_1(e^{\alpha L} - e^{-\alpha L}) + A_4 \sin \alpha L = 0; \\ A_1(e^{\alpha L} - e^{-\alpha L}) - A_4 \sin \alpha L = 0. \end{cases}$$

We make the last equations

$$2A_1(e^{\alpha L} - e^{-\alpha L}) = 0; A_1 = -A_2 = 0.$$

When the operating angular velocity ω coincides with one of the critical angular velocities, the deflections in the shaft increase infinitely. Mathematically, this can be done if the determinant consisting of coefficients for homogeneous members of the system of equations (11) is zero.

The solution of the determinant gives $A_4 \sin \alpha L = 0$. Since $A_4 \neq 0$ (because of what would be $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 0, y = 0$, and the shaft would be at rest), then

$$\sin \alpha L = 0,$$

That is $\alpha_1 L = \pi$, $\alpha_2 L = 2\pi$, ..., $\alpha_i L = i\pi$.

Because $\alpha^4 = m_L \omega^2 / EI$, then

$$\omega_{CR1} = \alpha_1^2 \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}} = \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}},$$

$$\omega_{CR2} = \alpha_2^2 \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}} = \left(\frac{2\pi}{L}\right)^2 \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}},$$

.....

$$\omega_{CRi} = \alpha_i^2 \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}} = \left(\frac{i \cdot \pi}{L}\right)^2 \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}}.$$

As can be seen, a smooth two-support shaft with uniformly distributed mass along the length has an infinite number of natural oscillation frequencies in accordance with the fact that there are an infinite number of degrees of freedom.

Consider a single-span shaft of length L , which carries two concentrated masses with coordinates z_1 and z_2 and has its own mass m_L (Fig. 6). When rotating at an angular velocity ω , the shaft will bend under the action of the centrifugal force $m_L \omega^2 y$ (here y is the deflection in the section studied with the z coordinate) and from the concentrated centrifugal forces $F_1(z_1)$ $F_2(z_2)$ caused by the rotation of m_1 and m_2 . These forces are balanced by the internal continuously distributed elastic deformation reaction q . Because the formula

$$q = EI \frac{d^4 y}{dz^4},$$

expresses the elastic force of deformation, regardless of the force factors that cause the deflection of the shaft, you can make a differential equation of equilibrium of a rotating shaft and one that has its own uniformly distributed mass and one that carries concentrated masses m_1 and m_2 (4):

$$\frac{d^4 y}{dz^4} = E \cdot I - m_L \cdot \omega^2 \cdot y = F_1(z_1) + F_2(z_2). \tag{12}$$

Assuming $\alpha^4 = m_L \omega^2 / EI$; $f_1(z) = F_1(z_1) / EI$, $f_2(z) = F_2(z_2) / EI$, represent equation (12) in the form

$$\frac{d^4 y}{dz^4} - \alpha \cdot y = f_1(z) + f_2(z). \tag{13}$$

The exact analytical solution of the differential equation (13) leads to cumbersome transcendental frequency equations, which are not very suitable for practical application. To find the dependences for determining the roots α of these frequency equations, acceptable in their accuracy for engineering calculations, allows an approximate method based on **the method of reduction**. The essence of this method is to replace a real shaft loaded with distributed and concentrated masses, an oscillating system with a weightless shaft, reduced mass m_{red} and stiffness K_{red} .

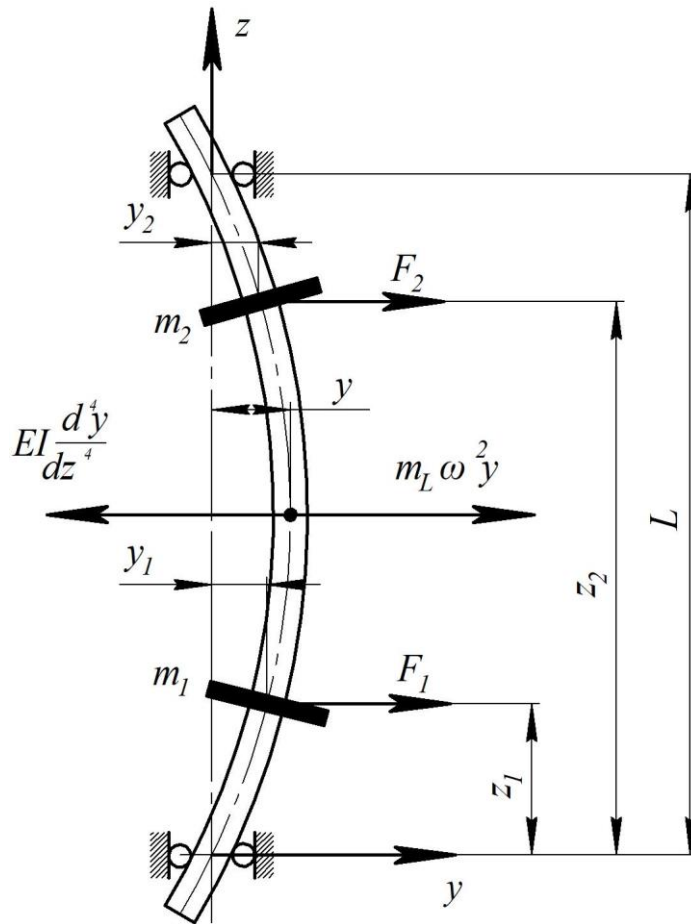


Fig. 6 Scheme of a shaft having an evenly distributed mass with two concentrated masses attached to it

To calculate the shaft of the mixing device, it is necessary to bring its schematic diagram to one of the calculation schemes shown in Fig. 7. The middle of the span for a single-span shaft (Fig. 7, a) and the end of the cantilever shaft console (Fig. 7, b) are taken as the point of reduction of the distributed and concentrated masses. In this case, the shape of the axis of the curved shaft is considered to coincide with the shape of the axis with static bending of the transverse force applied at the point of reduction B.

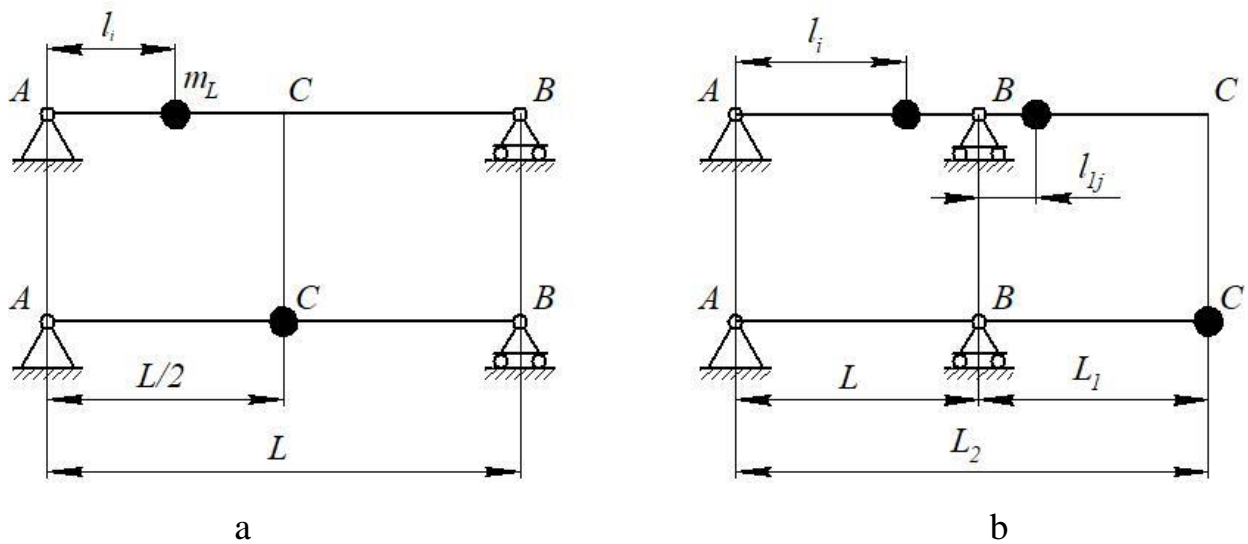


Fig. 7 Schematic diagrams of the drive shafts MMD: a - single-span; b – cantilever

9.1.6 Methods of engineering calculations of smooth shafts of MMD taking into account their own distributed masses

Calculations of shafts of mixing devices for vibration resistance are regulated by the guiding technical materials of the Ministry of Hydrofuels [482]. In the methods of calculating the shafts under consideration take a number of assumptions.

1. A split shaft connected by a rigid coupling is equivalent to a whole.
2. The force impact on the shaft of sealing devices and the pliability of the supports are not taken into account.
3. Points of application of masses and inertial forces from stirrers and other parts mounted on the shaft, adopted located in the middle of the hubs of these parts. If the parts have several hubs, its mass must be divided by the number of hubs.
4. Areas of the shaft located above the upper support are not taken into account in the calculation. In this case, the upper cantilever departure should not exceed 30% of the length of the cantilever shaft. The mass of the part mounted on it must not exceed the largest of the masses installed in the span or on the console, respectively.
5. Couplings and shaft diameter changes within the drive provided by standart.
6. When the agitator shaft is rigidly connected to the low-speed shaft of a standard planetary gearbox, the bearing of the gearbox used as the support of the agitator shaft is rigid.

7. Keyways up to $0.1d$ wide, where d is the diameter of the shaft, and local annular grooves with a diameter of more than $0.9d$ in the calculations for vibration resistance are not taken into account.

8. On rigid shafts of a constant section the sites differing in diameter no more than on 5% are allowed. The calculation is based on the diameter of the greatest length.

The calculation of the shaft for vibration resistance is performed by the method of successive approximations. The problem is reduced to the calculation of the approximate value of the diameter of the vibration resistance of the shaft, circular (angular) frequencies of its own transverse oscillations in the air and verify the result on the conditions of vibration resistance, given in Table 3.

Table 3 Vibration resistance conditions of shafts

Mixing medium	Vibration resistance conditions of shafts		
	Rigid		flexible
	with stirrers of all types, except paddle	with paddle stirrers	with high-speed stirrers
1	2	3	4
Air	$\xi = \frac{\omega}{\omega_{CR}} \leq 0,7$	$\xi \leq \frac{\omega}{\omega_{CR}} \leq 0,7$	Not recommended
Fluid-fluid	$\xi = \frac{\omega}{\omega_{CR}} \leq 0,7$	$\xi = \frac{\omega}{\omega_{CR}} \leq 0,7$	$\xi = \frac{\omega}{\omega_{CR}} = 1,3...1,6$
Fluid-solid		$\xi = \frac{\omega}{\omega_{CR}} \neq 0,45...0,55$	
Fluid-air	$\xi = \frac{\omega}{\omega_{CR}} \leq 0,6$	$\xi = \frac{\omega}{\omega_{CR}} \leq 0,4$	Not recommended

The following restrictions are required when designing a flexible shaft:

- a) Only flexible cantilever shafts of constant cross-section are used;
- b) The use of flexible shafts in gas - liquid environments is not allowed;

c) There must be no detachable couplings within the calculated shaft length.

9.1.6.1 Instructions for calculating the vibration resistance of rigid smooth single-span and rigid and flexible smooth cantilever shafts

In accordance with [483], the first critical speed of smooth shafts is determined by the formulas:

a) For cantilever

$$\omega_{CR1} = \frac{\alpha_1^2}{L_1^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}}; \quad (14)$$

б) For single-span

$$\omega_{CR1} = \frac{\alpha_1^2}{L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}}, \quad (15)$$

Where α_1 is the first root of frequency equation (13); L_1 - the length of the console; $I = \pi d^4 / 64$ - moment of inertia of the shaft cross section (in the design calculation contains an unknown shaft diameter); m_L is the mass per unit length of the shaft; E is the modulus of elasticity of the shaft material; L is the span length (see Fig. 7).

For practical calculations of shafts, adequate to the accepted schematics (see Fig. 7), the values of α_1 obtained by numerical solution of differential equation (13) on a computer at given values of the parameters included in it: relative lengths of sections, relative reduced mass of shaft and planted details. The results of these calculations are given in the form of graphical dependences α [484]: for cantilever smooth shafts (Fig. 8) from the relative span length \bar{L} and the relative reduced mass \bar{m}_{red} ; for a single-span shaft (Fig. 9) from the relative reduced mass of parts \bar{m}_{red} .

The relative length of the cantilever shaft \bar{L} is the ratio \bar{L}/L_1 , and the relative length of the cantilever \bar{L}_1 is the ratio \bar{L}/L_1 . Here L_1 , L_2 , L - the length of the console, cantilever shaft and span, respectively (see Fig. 7).

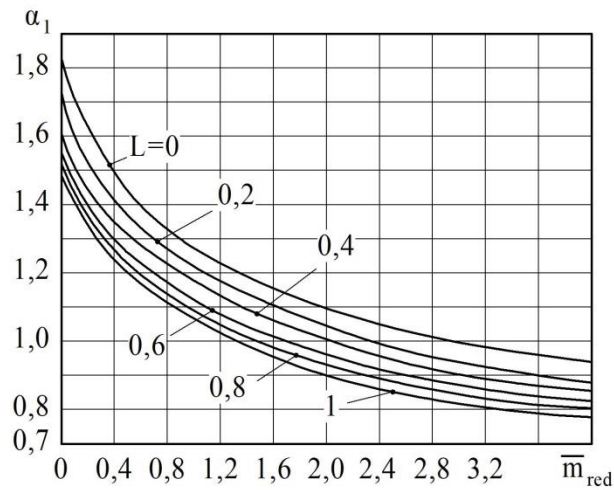


Fig. 8 Roots of the common equation for the cantilever shaft

The relative weight of the part:

For cantilever shafts

$$\bar{m}_{red} = \frac{m_{red}}{m_L \cdot L_1}; \tag{16}$$

For single-span shafts

$$\bar{m}_{red} = \frac{m_{red}}{m_L \cdot L}, \tag{17}$$

Where m_{red} total reduced mass of parts on the shaft; m_L is the linear mass of the shaft, $m_L = \pi d^2 / \rho / \rho$ (d is the diameter of the shaft, ρ is the density of the shaft material).

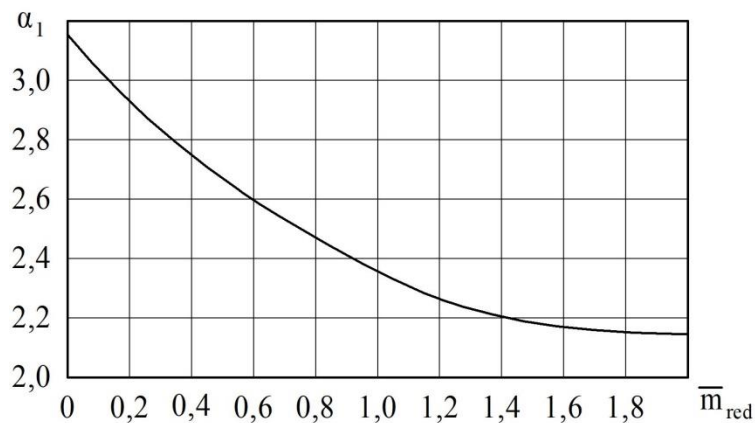


Fig. 9 Roots of the frequency equation for a single-span shaft

The total weight of the parts fixed in the following way:

On the cantilever shaft

$$m_{red} = \sum_{i=1}^{n_d} m_{ired} + \sum_{j=1}^{n_{1d}} m_{1jred}; \tag{18}$$

On the single-span shaft

$$m_{red} = \sum_{i=1}^{n_d} m_{ired} , \quad (19)$$

Where n_d is the number of parts in the span; m_{ired} is the reduced mass of each i -th detail in the span; n_{ld} is the number of parts on the console; m_{ljred} is the reduced mass of each j -th part on the console.

Reduced mass:

Every j -th detail on the console

$$m_{ljred} = m_{lj} \cdot \bar{y}_{llj}^2 ; \quad (20)$$

Every i -th in the span

$$m_{ired} = m_i \cdot \bar{y}_{li}^2 . \quad (21)$$

Dimensionless dynamic deflections \bar{y}_{li} for a single-span shaft are determined from the graph (Fig. 10) as a function of the relative coordinates l_i of the centers of mass of the parts located on the shaft.

Dimensionless dynamic deflections y_{li} at the attachment points of parts, such as couplings in cantilever shaft spans:

$$y_{li} = K_i \cdot \bar{L} , \quad (22)$$

Where K_i is the coefficient determined from the graph (Fig. 11) as a function of $\bar{L} \cdot l_1$.

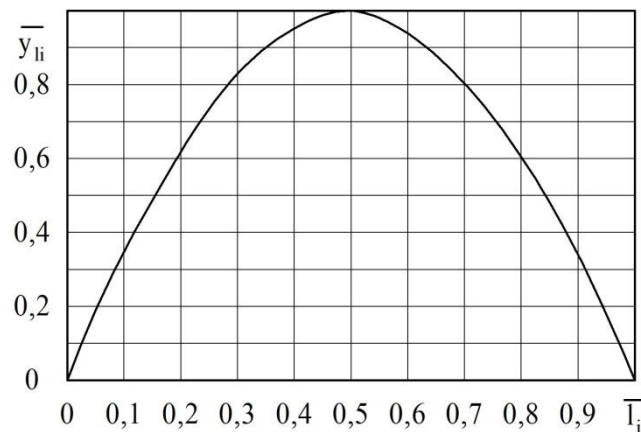


Fig. 10 Graph to determine the dimensionless deflections $\bar{y}_{li} = f(\bar{l}_i)$ of a single-span shaft

Dimensionless dynamic deflections \bar{y}_{llj} at the points of attachment of parts (stirrers) on the consoles of cantilever shafts are determined from the graphs (Fig. 12) as a

function \bar{L} and relative coordinates \bar{l}_{1j} of the centers of mass of parts placed on the consoles.

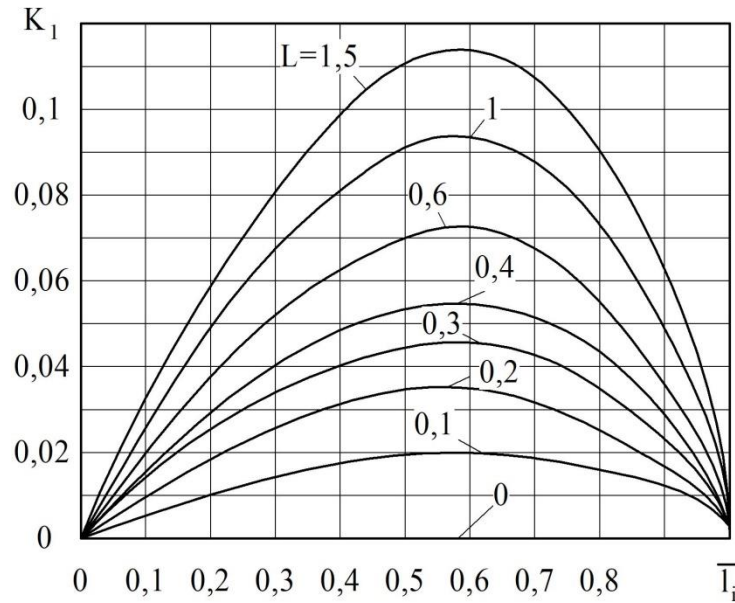


Fig. 11 Graph to determine the coefficient $K_i = f(\bar{l}_i, \bar{L})$

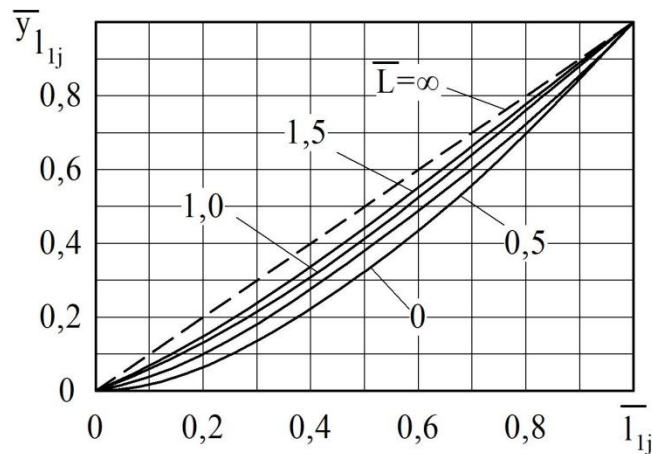


Fig. 12 Graph to determine the dimensionless deflections $\bar{y}_{11j} = f(\bar{l}_{1j})$ on the cantilever shaft console

Relative coordinates \bar{l}_i and \bar{l}_{1j} :

For single-span shafts and spans of cantilever shafts:

$$\bar{l}_i = \frac{l_i}{L}; \tag{23}$$

For consoles of cantilever shafts

$$\bar{l}_{ij} = \frac{l_{ij}}{L_1}. \tag{24}$$

In [485] the calculation formula is given

$$\bar{l}_{li} = \sin\left(\frac{\pi \cdot l_i}{L}\right), \quad (25)$$

Which is true for a single-span smooth shaft.

To determine the moment of inertia of the cross section of the shaft included in (14), (15), it is necessary to estimate the diameter of the vibration-resistant shaft. Using the method of reduction, we write for the selected schemes (see Fig. 7) the value of the total reduced mass M_{red} shaft and the parts attached to it:

$$\begin{cases} M_{red} = m_{red} + q \cdot m_L \cdot L_1; \\ M_{red} = m_{red} + q \cdot m_L \cdot L_2. \end{cases} \quad (26)$$

Where m_{red} is the total reduced mass of parts (mixing devices) that are mounted on the shaft; q is the reduction factor of the shaft mass m_L ; L_1, L_2 are the length of the span and cantilever shafts, respectively.

It is calculated that the real shaft (shaft with mass and parts attached to it) can be replaced by its equivalent weightless shaft with concentrated reduced mass.

Derivation of the formula for determining the approximate diameter of the shaft from the condition of equality of the critical speeds of the real and weightless shafts will be shown by the example of a single span shaft (Fig. 13):

$$\omega_{CR1a} = \omega_{CR1b} \quad (27)$$

Where ω_{CR1a} is the critical angular velocity of the real shaft; ω_{CR1b} is the critical angular velocity of the weightless shaft.

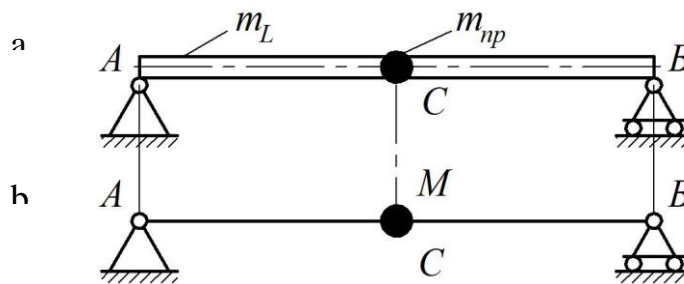


Fig. 13. Scheme for calculating the approximate value of the diameter of the vibration-resistant shaft: a - diagram of the shaft with distributed m_L and concentrated reduced m_{red} masses; b is a diagram of a weightless shaft with reduced mass.

In accordance with formulas (2), (26) and Table 1

$$\omega_{CR1} = \sqrt{\frac{1}{(M_{CR} \cdot \delta_{11})}} = \sqrt{\frac{3E \cdot I \cdot L}{l_1^2 (L-l_1)^2 (m_{red} + q \cdot m_L \cdot L)}}.$$

Since the midpoint of the shaft is chosen as the point of reduction C, then

$$\omega_{CRc} = \sqrt{\frac{16 \cdot 3E \cdot I \cdot L}{L^4 (m_{red} + q \cdot m_L \cdot L)}} = \sqrt{\frac{48E \cdot I}{L^3 (m_{red} + q \cdot m_L \cdot L)}}. \quad (28)$$

Given (15), (28), we represent equality (27) as

$$\frac{\alpha_{1a}^2}{L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}} = \sqrt{\frac{48}{m_L \cdot L^3 \left(q + \frac{m_{red}}{m_L \cdot L} \right)}},$$

Whereof

$$\alpha_{1a}^2 = \sqrt{\frac{48m_L \cdot L}{m_{red} + q \cdot m_L \cdot L}} = \sqrt{\frac{48}{m_L \cdot L^3 \left(q + \frac{m_{red}}{m_L \cdot L} \right)}}, \quad (29)$$

Where α_{1a} is the root of the frequency equation for a real shaft.

Using (15), (29), determine the approximate value of the first critical velocity of the real shaft

$$\omega_{CR1a} = \sqrt{\frac{48}{\frac{m_{red}}{m_L \cdot L} + q}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L \cdot L^4}} = \sqrt{\frac{48E \cdot I}{m_L \cdot L^4 \left(q + \frac{m_{red}}{m_L \cdot L} \right)}}. \quad (30)$$

Similarly, a formula can be obtained to calculate the approximate values of the critical angular velocities of the cantilever shafts.

Equating (30) to the critical speed from the condition of vibration resistance (see Table 3), we obtain the dependence for calculating the approximate value of the diameter of a smooth cantilever or single-span shaft:

$$\sqrt{\frac{\eta \cdot E \cdot I}{m_L \cdot L_y^2 \left(q + \frac{m_{red}}{m_L \cdot L} \right)}} = \frac{\omega}{\xi}, \quad (31)$$

Where η is the dimensionless coefficient that takes into account the conditions of shaft mounting; L_y - conditional length of the shaft; ω is the operating speed of the real shaft, which is set by the mixing conditions; ξ is a coefficient that takes into account the conditions of vibration resistance of the shafts (see Table 3).

For cantilever shafts $L_y = L_1$; $\eta = 3\bar{L}$; $q = 0,25$.

For single span shafts $L_y = L$; $\eta = 48$; $q = 0,5$.

After transformations (31) we obtain a formula for calculating the approximate value of the diameter of the vibration-resistant rotor

$$d_p = \sqrt{q \cdot f \cdot L_y^2 + \sqrt{(q \cdot f \cdot L_y^2)^2 + \frac{8m_{red} \cdot L \cdot f}{\pi \cdot \rho}}},$$

Where f is the dimensionless coefficient that takes into account the vibration resistance of the shaft.

$$f = \frac{8\rho\omega^2 L_y^2}{\xi^2 \eta E}.$$

According to the method of engineering calculations [486]

$$d_p = \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}}, \quad (32)$$

For one span shaft

$$A_1 = qfL^2, \quad A_2 = \frac{8m_{red} \cdot L \cdot f}{\pi \cdot \rho}.$$

For cantilever shaft

$$A_1 = qfL_1^2, \quad A_2 = \frac{8m_{red} \cdot L_1 \cdot f}{\pi \cdot \rho}.$$

Knowing the approximate value of the shaft diameter d_p , by formulas (14), (15) we determine the first critical velocity of the real shaft, which must satisfy the condition of vibration resistance (see Table 3) [487, 488]. If this condition is not met, the shaft diameter must be increased by 1 mm and find a new value of ω_{CRI} .

9.1.6.2 Instructions for calculating the vibration resistance of rigid stepped cantilever shafts

To reduce the mass of the shaft and some increase in the first critical angular velocity ω_{CRI} cantilever shafts should be designed stepped. The shape of the stepped shaft should be close to the shape of the beam of equal bending resistance (Fig. 14) [489].

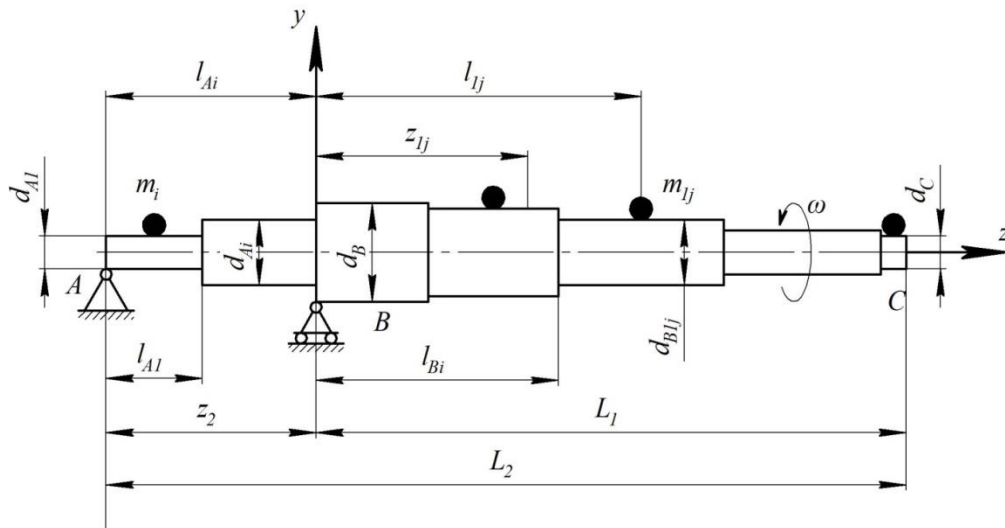


Fig. 14 The calculation scheme of cantilever stepped shaft with concentrated masses m_{lj} on the cantilever and m_i in the span of the shaft

The calculation of the vibration resistance of the stepped shaft can be divided into three stages:

1. Approximate calculation of the diameter of the vibration-resistant shaft in the support section B;
2. Calculation of diameters of steps of a shaft in span and on the console;
3. Calculation of the critical angular velocity of rotation of the real shaft and verification of the vibration resistance condition.

The calculation of the diameter d_B is performed by formulas (16), (18) - (24), (31) and (32).

The diameters d_{AI} and d_C are calculated from the torsional strength condition.

The shaft shank with a diameter d_{AI} perceives the torque spent on overcoming the friction forces in the supports A and C, in the seal and on the mixing of the liquid n_{la} by the number of stirrers [490, 491].

The shank with a diameter of d_C transmits the torque required for mixing with only one stirrer:

$$M_T^C = \frac{N^C}{\omega},$$

Where N^C is the power consumed by the stirrer fixed at point C; ω is the operating angular velocity of the stirrer.

Since the polar moment of the shank resistance under consideration, $w_p^C = \pi d_C^3 / 16 = M_{kp}^C / [\tau]$ ($[\tau]$ - allowable tangential stress), the diameter of the shank C:

$$d_C = \sqrt{\frac{16N^C}{\pi \cdot \omega \cdot [\tau]}} \quad (33)$$

When calculating the total torque transmitted by the shank d_{A1} , the moment of friction in the supports can be neglected due to its insignificant value.

Torque to overcome the friction forces in the seal, such as the stuffing box seal

$$M_T = \frac{F_f \cdot d_B}{2} = \left[\frac{\pi \cdot d_B \cdot S_H \cdot P \cdot f_{kin}}{2K \cdot f} \right] \left(e^{\frac{2Kfh}{S_H}} - 1 \right) \frac{d_B}{2},$$

Where d_B is the diameter of the shaft in the support section; S_H, h - respectively, the length and height of the stuffing box seal; P - pressure in the device; f, f_{kin} - respectively static and kinetic coefficients of sliding friction of the shaft on the packing; K is the coefficient of lateral pressure.

Shank diameter A is measured similarly (33):

$$d_{A1} = \sqrt{\frac{16}{\pi \cdot [\tau]} \left(\sum_{n_{1d}=1}^{n_{1d}} \frac{N_{1d}}{\omega} + M_T \right)},$$

Where n_{1d} is the number of stirrers on the console; N_{n1d} is the power expended on mixing with each stirrer.

Diameters d_{A2}, d_{A3} are accepted taking into account fastening on a shaft of these or those details according to the set conditions.

The diameter of the steps on the console is chosen by the formula

$$d_{cli} = d_C \sqrt{1 - \left(1 - \frac{d_C^2}{d_{A1}^2} \right) \cdot \bar{z}_{1i}},$$

Where d_{A1} and d_C are the diameters of the shaft shanks; $\bar{z}_{1i} = z_{1i} / L_1$ is a relative coordinate of the end of the span; t is an indicator of the degree determined by the graph (Fig. 15) depending on the relative reduced mass of the parts mounted on the shaft m_{red} and the relative ductility of the parts θ :

$$\theta = \frac{I_C \cdot L}{I_{equ} \cdot L_1},$$

Where $I_C = \pi d_C^4 / 64$ is an axial moment of inertia of the reference section of the shaft;
 I_{equ} is the equivalent moment of inertia of the span cross section.

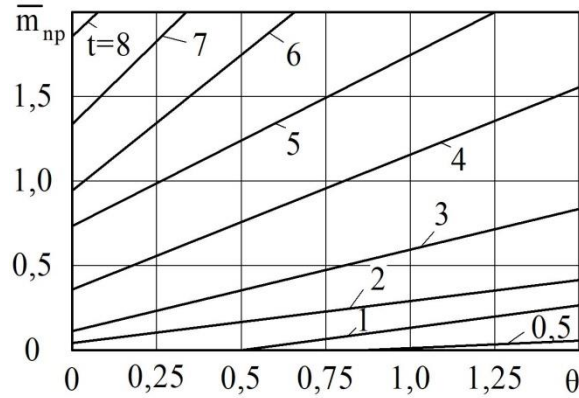


Fig. 15 Dependence of the exponent t on the relative mass of the parts mounted on the shaft and the relative flexibility θ span of the cantilever shaft

Depending on the number of steps in the span, its equivalent moment of inertia:

For a shaft with two steps d_{A1} and d_{A2}

$$I_{equ} = \frac{I_{A1}}{\frac{I_{A1}}{I_{A2}} + \left(\frac{l_{A1}}{L}\right)^3 \cdot \left(1 - \frac{I_{A1}}{I_{A2}}\right)},$$

For a shaft with three steps d_{A1} , d_{A2} and d_{A3}

$$I_{equ} = \frac{I_{A1}}{\frac{I_{A1}}{I_{A3}} + \left(\frac{l_{A1}}{L}\right)^3 \cdot \left(1 - \frac{I_{A1}}{I_{A2}}\right) + \left(\frac{l_{A2}}{L}\right)^3 \cdot \left(\frac{I_{A1}}{I_{A3}} - \frac{I_{A1}}{I_{A2}}\right)},$$

Where $I_{Ai} = \pi d_{Ai}^4 / 64$ is an axial moment of inertia of the cross section of the span step.

The first critical angular velocity of a real stepped cantilever shaft

$$\omega_{CR1} = \left[\frac{\overline{\omega}_{CR1} \cdot d_C}{4L_2^2} \right] \sqrt{\frac{E}{m_L}},$$

Where $\overline{\omega}_{CR1}$ is the relative first critical angular velocity of the real shaft; L_2 is the length of the cantilever shaft; E is the modulus of elasticity of the shaft material; m_L is mass of 1 m of shaft length.

Relative first critical angular velocity

$$\bar{\omega}_{CR1} = \sqrt{\frac{\bar{K}_{red}}{\bar{m}_{red}}},$$

Where \bar{K}_{red} is the relative reduced stiffness of the stepped cantilever shaft; \bar{m}_{red} is the relative reduced mass of the real shaft (stepped shaft with mounted parts).

Relative given stiffness factor

$$\bar{K}_{red} = b_3^2 \left[b_2^2 + \frac{1}{3} - 2b_1 \left(\frac{1}{t+1} - \frac{2}{t+2} + \frac{1}{t+3} \right) + b_1^2 \left(\frac{1}{2t+1} - \frac{2}{2t+2} + \frac{1}{2t+3} \right) \right],$$

Relative reduced mass of the real shaft

$$\bar{m}_{red} = \bar{m}_{red} + b_3^2 \left[\frac{b_2^2}{3} + \frac{11}{60} b_2 + \frac{11}{420} - b_1 \left(\frac{b_2^2}{t+3} - \frac{b_2}{t+4} + \frac{1}{4(t+5)} - \frac{b_2}{3(t+5)} - \frac{1}{6(t+6)} + \frac{1}{36(t+7)} \right) \right]$$

Where \bar{m}_{red} is the relative reduced mass of the parts fixed in the span and on the shaft console; b_1, b_2, b_3 are coefficients that take into account the shape and size of the stepped shaft

$$b_1 = 1 - \left(\frac{d_B}{d_C} \right) \quad ; \quad b_2 = \frac{L \cdot I_C}{3L_1 \cdot I_{equ}} \quad ; \quad b_3 = \frac{1}{b_2 + \frac{1}{3}}.$$

Vibration resistance condition for rigid cantilever shaft

$$\frac{\omega}{\omega_{CR1}} = \xi,$$

Where ξ is the coefficient selected from Table 3.

If the vibration resistance condition is not met, it is necessary to increase the diameter d_C and repeat the calculation until the vibration resistance condition is met.

CONCLUSIONS

The paper describes in detail the method and algorithm of typical calculation of shafts of mixing devices used in the chemical, food and biotechnological industries. The following algorithms and calculation methods are considered: calculation of the frequency of natural oscillations of a weightless shaft with one degree of freedom; instructions for calculating the critical angular velocity are given and the condition of vibration resistance of a smooth weightless shaft with one degree of freedom is established; instructions for calculating the frequency of natural oscillations of a smooth weightless shaft with two or more degrees of freedom; instructions for

calculating the frequency of natural oscillations of a smooth shaft, taking into account its evenly distributed mass along the length; the method of engineering calculations of smooth shafts taking into account their own distributed masses is given. This work can be used as a textbook for university students with relevant engineering specialties in the field of mechanical engineering, and as a guide for engineering calculations in the design of relevant equipment in various industries.

9.2 Research of reliability of mechanisms of parallel structure of hexapod type

NOMENCLATURE AND GLOSSARY

OP, IOP, INT	indexis of the object state (operational, inoperable, additional intermediate)
n	the number of degrees of mobility of the MPSK
m	the number of variants of reliability distribution of the MPSK subsystems
i, j	$i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, m$
K_R	readiness factor
$K_R(t)$	readiness function
K_{RS}	stationary factor of readiness
$P(t)$	product reliability function
$P_i(t)$	the value of the reliability the i -degree of mobility of the MPSC
P_P, P_N, P_D	the probabilities of the subsystem being in states OP, IOP, INT respectively
P_G, P_{SJ}, P_S	reliability indicators of subsystems hydraulic drive, spherical joint and spindle respectively
P^{dis}, P_{DO}	reliability indicators of the system specified in the design and its optimal value
$\lambda_j(t)$	the failure rate index for the distribution of the j -variant of the MPSK subsystems
λ_0	the value of the failure rate at $t \rightarrow \infty$
λ_P	failure rate during the transition from the state OP to the state INT
λ_D	failure rate during the transition from the state INT to the state IOP
λ_N	failure rate during the transition from the state IOP to the state OP
T_P	the average duration of work before the first failure
T_D	the average duration of damage accumulation
T_N	the average duration of the system recovery (inoperable state)
S	the integration parameter in the Laplace transform
S_1, S_2	the roots of the denominator in the Laplace transform
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	the constant coefficients in the Laplace transform
G_j	indicator of system reliability for the j -variant of the distribution of reliability norms between the MPSK subsystems
$W_j(R), C_j(R)$	the economic effect and costs of using the j -option with the level of reliability R
R_1, R_2, R_3	rational distribution of subsystem reliability indicators
$MPSK$	mechanisms of parallel structure and kinematics
TS	technical system

Widespread production and use in modern industry of high-precision robotic machines and industrial platforms based on mechanisms of parallel structure and kinematics (MPSK) such as biglide, bipod, triglyde, pentapod, hexaglide, hexapod, etc. determines the rapid development of scientific research on technical level indicators and criteria for system optimization of relevant structures at the design

stage [492, 493].

The reliability of such complex technical systems (TS) is generally limited by the reliability of the main subsystems (**drives**: electric, hydraulic, pneumatic; **transmissions**: mechanical, electrical, hydraulic; **modules** of control and monitoring), as well as individual "**weak elements**" (bearings, seals, sensors of kinematic and dynamic parameters of the operation of the TS with aggregate-modular structures), which require statistical analysis, mathematical and simulation modeling at the design stage [494, 495].

The problem of structural reliability of the MPSK and its provision at the required level requires the solution of a number of scientific problems, namely:

- development of methods for determining the readiness function for typical MPSK schemes in the conditions of gradual accumulation of damage;
- structural analysis of the reliability of typical structures of the MPSK;
- substantiation of the recommendation on the optimal distribution of normative values of reliability indicators between the subsystems of the MPSK at the design stage.

The reliability of the MPSK depends on the reliability of individual subsystems, reliability indicators of which in design practice are accepted as basic normative parameters, the values of which are determined experimentally and provided during operation using appropriate lower level elements - "atomic elements", which are usually indivisible [496, 497]. Machine-robots and industrial platforms are designed for long-term use, and possible failures or delays in technological operations can be restored after repairs. Such TS are not used continuously, but include only for a certain time to perform certain complex high-precision and high-tech operations. The behavior of the restored TS is described by a random altered process with alternating periods of regulatory operation and recovery periods. A comprehensive indicator of the reliability of such TS is the readiness factor (RF), which reflects the probability $K(t)$ that the vehicle is operational at any time t , except for the planned periods during which the use of the vehicle is not provided [498, 499].

When assessing the reliability of the TS based on the MPSK, they are classified as objects, which are characterized by a gradual increase in the intensity of failures in

the absence of reservations. In such cases, the formation of failure flows of subsystems can not be described as a Markov random process of transitions to various possible (operational or inoperable) states. To reduce non-Markov processes to Markov processes and further analytical description of vehicle reliability, it is proposed to introduce an additional intermediate state [497].

A directional graph of reliability states and transitions is constructed (Fig. 1). Hexapod-type MPSK (Fig. 2) is considered, in the structure of which three typical aggregate-modular subsystems (electromechanical drive of translational motion 1, rotating kinematic pairs 2, spindle mechanism 3) are distinguished, for which the failure time decreases increases [498].

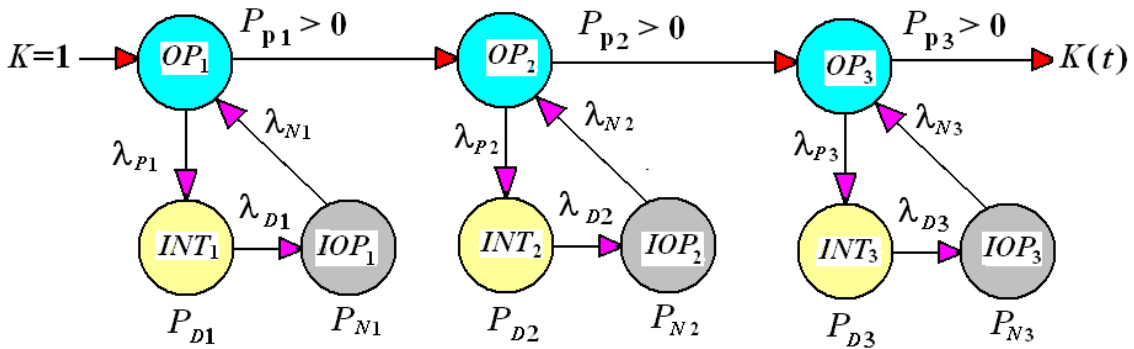
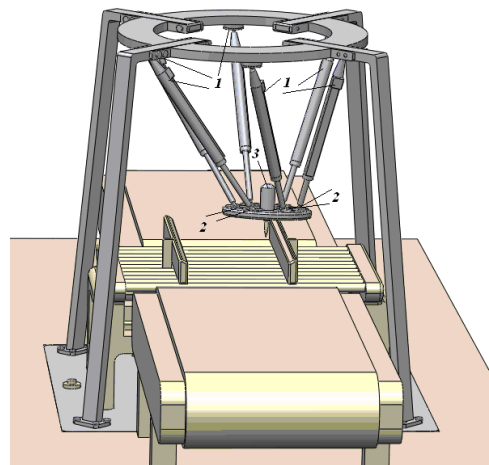


Figure 1. Graph of reliability states and transitions of connected subsystems 1, 2, 3 (indices correspond to the state: "OP" - operational; "IOP" - inoperable; "INT" - additional intermediate)

Figure 2. Model of the machine-robot on the basis of hexapod:

- 1 – electromechanical drive of translational motion;
- 2 – rotating kinematic pairs;
- 3 – spindle mechanism



MPSK subsystems (model elements) are different in failure and recovery intensities. If we neglect the scattering of the load between the subsystems, the load capacity of the elements are independent of each other, ie the corresponding failures can be considered statistically independent. The probability of failure-free operation in

this case is determined by formula (1) in the same way as for non-recovery systems, ie

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (1)$$

Obviously, even with high reliability of each of the elements, the reliability of a sequential multi-element system is much lower. For example, for a hexapod with six degrees of freedom, given the equal reliability of the subsystem modules of each of the degrees of freedom at the level 0.95, the calculated indicator is equal. As a result of the analysis of the statistics of operational failures of the MPSK in the hexapod it was found that the "weak element" are the seals of the subsystem of the hydraulic drive of translational movements [500, 501].

Due to the introduction of additional intermediate states, it becomes possible to use in the models of Erlang reliability (from the **class of aging**) and hyperexponential (from the **class of youth**) distributions of operating time to failure. In particular, the Erlang distribution is a composition of a fixed number of exponentially distributed random variables. Functional analysis of the failure rate for the distribution of the k -order indicates that at the initial time the intensity $\lambda_j(t) = 0$, and $\lambda_j(\infty) \rightarrow \lambda_0$.

By defragmenting the connected graph of the MPSK state system, the reliability graph of a separate subsystem is selected (Fig. 3). The transition from state "OP" to state "INT" is carried out with intensity $\lambda_{OP} = 1/T_P = \text{const}$ (T_P – average operating time before the first failure of the subsystem). The transition from state "INT" to state "IOP" is carried out with intensity $\lambda_D = 1/T_D = \text{const}$ (T_D – average time of accumulation of damages), and transition from state "IOP" to state "OP" with intensity of failures $\lambda_N = 1/T_N$ (T_N – average recovery time of subsystem). After each recovery, the subsystem is considered completely renewed, ie its probabilistic characteristics become the same as in the new subsystem.

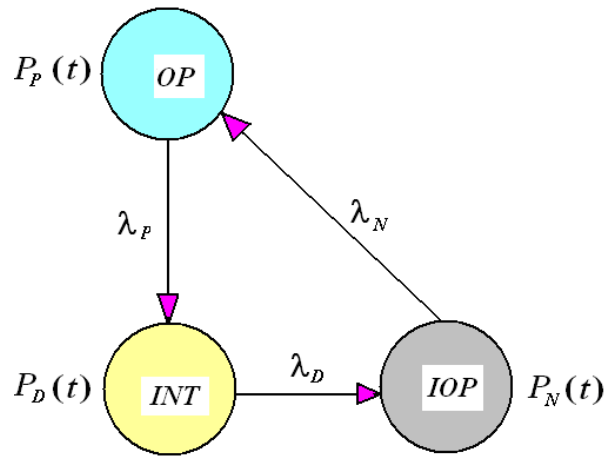


Figure 3. Graph of states and transitions of the subsystem of the MPSC drive:
 indices correspond to the state of the subsystem;
 $\lambda_p, \lambda_D, \lambda_N$ - corresponding intensities of transitions

On the basis of the graph (Fig. 3) the differential equations of dynamic balance for probabilities of constituent states in the form (2) are made:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_p(t)}{dt} &= -\lambda_p P_p(t) + \lambda_N P_N(t); \\ \frac{dP_D(t)}{dt} &= -\lambda_D P_D(t) + \lambda_p P_p(t); \\ \frac{dP_N(t)}{dt} &= -\lambda_N P_N(t) + \lambda_D P_D(t) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$P_p(t), P_D(t), P_N(t)$ – the probability of finding the subsystem in working, intermediate and inoperable states, respectively.

The normalized condition for the subsystem, which is in only one of the possible states (Fig. 3), is: $P_p(t) + P_D(t) + P_N(t) = 1$.

The given rationing condition corresponds to a closed graph of the reliability states of the subsystem. To analyze the dynamics of the behavior of the non-stationary readiness factor RF as the initial conditions for the general case, the condition is accepted that the subsystem starts working from a working condition, ie

$$P_p(0) = 1; \quad P_D(0) = 0; \quad P_N(0) = 0. \quad (3)$$

To integrate equations (2) with the initial conditions (3), the method of Laplace

transforms on the one-to-one correspondence of the original function $P(t)$ and its transformation $\varphi(s)$ in the form of (4) is used:

$$\begin{pmatrix} \lambda_p + s & 0 & -\lambda_N \\ -\lambda_p & \lambda_D + s & 0 \\ 0 & -\lambda_D & \lambda_N + s \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varphi_p(s) \\ \varphi_D(s) \\ \varphi_N(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

In the phase space of transitions, the system (see Fig. 1) consists only of transitive (non-absorbing) states, so the first two of the three equations in system (2) are chosen for the solution and the rationing condition (3) is added to them. The equation in the form (5) is obtained:

$$\begin{pmatrix} \lambda_p + s & 0 & -\lambda_N \\ -\lambda_p & \lambda_D + s & 0 \\ s & s & s \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varphi_p(s) \\ \varphi_D(s) \\ \varphi_N(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Non-stationary RF , the probability that while in working order the subsystem will not go into failure is determined by equation $K(t) = P_p(t)$.

The Laplace transform based on equations (1) has the form (6):

$$\varphi_p(s) = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 0 & -\lambda_N \\ 0 & \lambda_D + s & 0 \\ 1 & s & s \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \lambda_p + s & 0 & -\lambda_N \\ -\lambda_p & \lambda_D + s & 0 \\ s & s & s \end{vmatrix}} = \frac{s^2 + s(\lambda_D + \lambda_N) + \lambda_N \lambda_D}{s[(\lambda_p + s)(\lambda_D + s) + \lambda_N(\lambda_p + \lambda_D + s)]} = \left. \begin{aligned} &= \frac{s^2 + s(\lambda_D + \lambda_N) + \lambda_N \lambda_D}{s[s^2 + s(\lambda_p + \lambda_D + \lambda_N) + \lambda_p \lambda_D + \lambda_p \lambda_N + \lambda_D \lambda_N]} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

In order to obtain the inverse Laplace transform, it is convenient to display function (6) as the sum of the type $a/(s+b)$, ie in the form (7)

$$\varphi_p(s) = \frac{\beta_1}{s} + \frac{\beta_2}{s - s_1} + \frac{\beta_3}{s - s_2} = \frac{s^2(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) - s[s_1(\beta_1 + \beta_3) + s_2(\beta_1 + \beta_2)]}{s(s - s_1)(s - s_2)}, \quad (7)$$

where s_1, s_2 – the roots of the denominator in equation (6); $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – constant coefficients, which are determined by equating the numerators of equations (6) and (7):

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= -(a_0 - b_0); & s_2 &= -(a_0 + b_0); & a_0 &= 0,5(\lambda_p + \lambda_D + \lambda_N); \\ b_0 &= 0,5\sqrt{(\lambda_p + \lambda_D - \lambda_N)^2 - 4\lambda_p\lambda_D}; & \beta_1 &= \frac{\mu\lambda_p}{\lambda_p\lambda_D + \lambda_p\lambda_N + \lambda_D\lambda_N} \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_2 &= \frac{\lambda_D + \lambda_N + s_1 + \frac{\lambda_N\lambda_D}{s_1}}{s_1 - s_2}; & \beta_3 &= \frac{\lambda_D + \lambda_N + s_2 + \frac{\lambda_N\lambda_D}{s_2}}{s_1 - s_2} \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

After substitution (8) and (9) in equation (7) and transformations obtained:

$$\varphi(s) = \frac{\lambda_N\lambda_D}{\lambda_p\lambda_D + \lambda_p\lambda_N + \lambda_D\lambda_N} + \frac{\beta_2}{s + (a_0 - b_0)} + \frac{\beta_3}{s + (a_0 + b_0)}. \quad (10)$$

Going from the image (10) to the original, according to the Laplace transform, we obtain a function for **nonstationary** in the form

$$K_R(t) = \frac{\lambda_N\lambda_D}{\lambda_p\lambda_D + \lambda_p\lambda_N + \lambda_D\lambda_N} + \beta_2 e^{-(a_0 - b_0)t} + \beta_3 e^{-(a_0 + b_0)t}. \quad (11)$$

Accepting $t \rightarrow \infty$, non-stationary **RF** coincides to a certain value, the so-called **stationary RF** (Fig. 4), which is determined by the boundary transition

$$K_{RS}(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} K_R(t) = \frac{\lambda_N\lambda_D}{\lambda_p\lambda_D + \lambda_p\lambda_N + \lambda_D\lambda_N} + \frac{1}{\lambda_p} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{\lambda_p} + \frac{1}{\lambda_D} + \frac{1}{\lambda_N} \right)} = \frac{T_p}{T_p + T_D + T_N}.$$

The optimal level of reliability corresponds to the maximum of the objective function in the form

$$G_i(R) = W_i(R) - C_i(R),$$

where R – system reliability indicator, depending on the selected i -th option for the distribution of reliability standards between subsystems; ;

$i = \overline{1, n}$, n – number of options;

$W_i(R)$ – economic effect from the use of the i -th option with the value of the reliability indicator at the level of R ;

$C_i(R)$ – the cost of ensuring the level of reliability at the level for the i -th option.

For each variant of distribution of norms of reliability the optimum decision is found on a condition:

$$\frac{\partial W_i(R)}{\partial R} = \frac{\partial C_i(R)}{\partial R} .$$

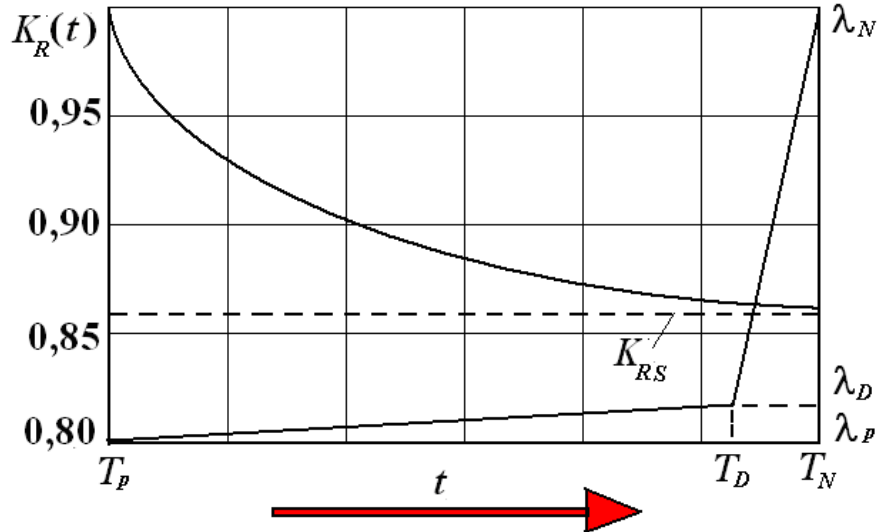


Figure 4. Graph of changes in the readiness function of the subsystem of the hydraulic drive MPSK with reliability parameters:
 $T_p = 4000 \text{ h}$, $T_D = 600 \text{ h}$, $T_N = 60 \text{ h}$

According to the assumption that the elements of the system fail independently of each other, ie the failure of each element leads to the failure of the whole system, we have inequality

$$P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \geq P^{dis} , \quad (1)$$

where P^{dis} – the reliability of the system is specified during design.

To optimize the level of reliability of the subsystem of the hexapod hydraulic drive, the method of rational distribution of the reliability of the elements was used [497].

For the TS consisting of n elements, we rank the reliability of the elements in ascending order $P_1 \leq P_2 \leq \dots \leq P_n$. Each of the indicators P_1, P_2, \dots, P_k in the design is increased to the same value P^{dis} , and since P_{k+1}, \dots, P_n do not change. The

number k is chosen by the maximum value of j for which the conditions are met

$$P_j \leq \left(\frac{P^{dis}}{\prod_{j=1}^{n+1} P_j} \right)^{\frac{1}{j}} = r_j; \quad P_0^{dis} \leq \left(\frac{P^{dis}}{\prod_{j=1}^{n+1} P_j} \right)^{\frac{1}{k}}, \quad (12)$$

where $P_{n+1} = 1$ – accepted by definition.

The reliability of the system after finding P_0^{dis} satisfies conditions (12), since the new value of the indicator P^{dis} is equal to $(P_0^{dis})^k \cdot P_{k+1} \cdot \dots \cdot P_n = P^{dis}$.

For MPSK type hexapod with six parallel mechanisms (rods) in the machine-robot there are three main subsystems (1 – hydraulic, 2 – hinged rod supports, 3 – spindle), and determined the need to comply with the condition:

$$P_G \cdot P_{SJ} \cdot P_S \geq P^{dis}.$$

Based on statistical values: $P_G = 0.97$; $P_{SJ} = 0.99$; $P_S = 0.95$, obtained $P = P_G^6 \cdot P_{SJ}^{12} \cdot P_S = 0.97^6 \cdot 0.99^{12} \cdot 0.95 = 0.71$.

In order to determine the most effective ways to increase the design value of the reliability indicator of the hexapod to the level $P^{dis} = 0.84$, the rational distribution of the values of the reliability indicators of the subsystems is determined. First, it is assumed that $k = 1$, then by formula (12) is obtained

$$P_0^{dis} = \left(\frac{P^{dis}}{\prod_{j=1}^{n+1} P_j} \right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{0.84}{0.89 \cdot 0.95 \cdot 1.0} \right)^{\frac{1}{1}} = 0.999.$$

As a result $P = 0.999 \cdot 0.89 \cdot 0.95 = 0.84$, this distribution of reliability of subsystems is not rational, because for subsystem 1, consisting of six independent modules of translational motion, it seems almost impossible and economically impractical to further increase the indicator from $P_G = 0.97$ to $P_G = \sqrt[6]{0.999} = 0.9999999$. From formula (12) determined rational distribution of reliability indicators for subsystems

$$r_1 = \left(\frac{0,84}{0,89 \cdot 0,95 \cdot 1,0} \right)^{\frac{1}{1}} = 0,999; \quad r_2 = \left(\frac{0,84}{0,95 \cdot 1} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,88; \quad r_3 = \left(\frac{0,84}{1} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,94.$$

As a result $P_1 < r_1$, $P_2 < r_2$, $P_3 > r_3$, the largest value of j is obtained $P < r$ in this case, provided that it corresponds to $j = 2$, so $k = 2$ is accepted and determined

$$P_0^{dis} = \left(\frac{0,84}{0,95 \cdot 1,0} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,88.$$

The result means that the reliability indicators for subsystems 1 and 2 must be increased from 0.83 to 0.88 and from 0.89 to 0.94, respectively.

For subsystem 3, the reliability indicator can be left at the previous level. With the rational distribution of reliability indicators for the three subsystems of hexapod and the TS as a whole obtained

$$P_G = \sqrt[6]{0,88} = 0,98; \quad P_{SJ} = \sqrt[12]{0,94} = 0,995; \quad P_S = 0,95,$$

$$P = P_G^6 \cdot P_{SJ}^{12} \cdot P_S = 0,98^6 \cdot 0,995^{12} \cdot 0,95 = 0,84,$$

that is, the design requirements for the reliability of the MPSK have been met.

By introducing an additional intermediate state in the directional graph of states and transitions for typical MPSK schemes, a method for determining the readiness function in the conditions of gradual accumulation of damage has been developed. The algorithm of the structural analysis of reliability of the MPSK is developed, the example of substantiation of recommendations concerning optimum distribution of norms of reliability between subsystems of the MPSK at a design stage is resulted.

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.9.3

9.3 Удосконалення процесу ремонту сільськогосподарської техніки підвищенням зносостійкості пресових з'єднань деталей машин енергоефективними методами

Складання нерухомих поверхонь може бути забезпечене, наприклад, шляхом вдавлювання валу в отвір, нагрівання частини, що має отвір і обволікаючий його, або охолодженням валу [502, 503].

Аналіз результатів роботи валків композитного стану ряду типорозмірів показує, що існує велика кількість випадків низької надійності фіксації шини на осі валків у процесі складання термічним впливом [504]. Це сприяло розробці широкого спектру додаткових конструктивних, технологічних та інших видів способів і засобів кріплення [505].

Пошкодження, викликані явищем фреттинг-корозії (ФК), залежать від переважної більшості факторів, а саме від відносної амплітуди ковзання, контактного тиску, кількості циклів, частоти коливань, матеріалу та середовища.

Типовим прикладом для вивчення різних типів причин виникнення ФК є пружна муфта (ПМ). Основною перевагою муфт з пружними металевими елементами в порівнянні з зубчастими і втулково-пальцевими муфтами є їх висока компенсаційна здатність, або можливість роботи зі зміщеними осями валів без створення значних додаткових навантажень на вали та їх опору. елементи (підшипники). Низькі реактивні сили позитивно впливають на роторну систему, термін служби якої тут менше залежить від точності центрування валу. Муфти одночасно мають крутильну жорсткість і гнучкість в осьовому та кутовому напрямках, щоб компенсувати значні значення децентрування валу, включаючи зміщення [506].

Слід зазначити, що серед усіх сполучуваних поверхонь деталей ПМ особливу небезпеку представляє з'єднання типу «напівмуфта-вал», при якому зовнішня циліндрична поверхня вала стикається з внутрішньою циліндричною поверхнею напівмуфти. зчеплення, і деталі тут утворюють попередньо натягнутий з'єднання [507-510].

Також слід зазначити, що такі важливі деталі насосно-компресорного обладнання, як напівмуфти, які утворюють з валами компресійні з'єднання, зазвичай виготовляються з жароміцної та релаксаційної конструкційної сталі марки 38Х2МЮА (інше позначення – марка 38ХМЮА).), які можуть бути замінені сталями марок 38Х2ЮА, 38Х3МВФ, 38ХВФЮ, 38Х2Ю.

Як правило, в процесі експлуатації між сполучними циліндричними поверхнями, як правило, в районі торців напівмуфти, виникає фреттинговий знос (ФЗ), що може призвести до ослаблення прилягання, посилення вібрації, що призводить до з'єднання. невдача та аварія. Крім того, ФЗ призводить до зниження втомної міцності деталей, що також може спричинити серйозні нещасні випадки.

Для значного підвищення несучої здатності компресійних з'єднань останнім часом широко розвивається науково-технічний напрямок, пов'язаний із введенням проміжних шарів з м'яких і твердих матеріалів у зони контакту з'єднань [511–519].

Ефективність того чи іншого покриття залежить від його товщини. Були проведені експерименти, які показали, що пошкодження фреттингу збільшувалися, коли товщина гальванічного срібла зменшувалася зі 125 до 12,5 мкм. Згідно з роботою [520], для забезпечення практичного використання більшості деталей рекомендовано наносити покриття товщиною 75-125 мкм, хоча в деяких випадках рекомендована товщина до 300 мкм.

У роботі [521] автор цитував результати роботи А. Туми та Ф. Вундерліха, в яких обговорювався значний ефект підвищення межі витривалості валів із запресованими деталями шляхом їх карбонізації. Встановлено, що на межу витривалості зразків діаметром 12 мм із запресованими втулками впливають їх викривлення в процесі загартування. Після вжиття заходів проти викривлень межа витривалості зросла з 137,3 до 412,0 МПа. За даними, представленими Е. Лером, межа витривалості карбонізованих зразків діаметром 60 мм була більш ніж вдвічі збільшена, ніж у монтажної установки під тиском.

Сьогодні хіміко-термічна обробка (ХТО) є одним з найефективніших методів зміцнення поверхонь деталей для підвищення їх довговічності. Незважаючи на те, що в результаті ХТО значно підвищується якість поверхневих шарів деталей машин, спосіб має ряд недоліків. Це: об'ємний нагрів частини, що призводить до зміни її структури та вихідних геометричних параметрів (деформації та короблення); громіздке і дороге технологічне обладнання; тривала тривалість процесу, використання енергоємного обладнання тощо.

Останнім часом для підвищення якості поверхневих шарів деталей машин все більшого значення набуває метод електроіскрового легування (electrospark alloying) (ESA), а саме процес перенесення матеріалу на поверхню виробу електричним іскровим розрядом [522-524]. Його особливістю є: екологічна безпека, місцевість дії, низьке енергоспоживання, міцне з'єднання нанесеного матеріалу з основою тощо. Використовуючи різні електродні матеріали, метод ESA може бути використаний для проведення процесів, альтернативних ХТО, але зі значно меншими витратами [525-528]. Таким чином, застосувавши графітовий електрод і насичивши поверхню деталі вуглецем, можна провести процес карбонізації [529], роблячи те ж саме з використанням алюмінієвого електрода, провести процес алюмініювання [530] тощо.

Аналіз використаної літератури показав, що для захисту поверхонь деталей компресійних з'єднань типу «маточина-вал» від ФК найбільш перспективним може бути метод, який дозволяє нанести захисне покриття в локальному місці на поверхню однієї або, якщо необхідно, обох частин, що сполучаються. У той же час немає необхідності захищати інші частини від впливу процесу ESA. Крім того, враховуючи позитивну роль таких методів, як карбонізація, алюмініювання та сульфидування у захисті сполучених поверхонь деталей від ПМ, виникла потреба у розв'язанні проблеми створення нового процесу формування складних багатокомпонентних CS-Al покриттів сталевих деталей за методом ESA.

Таким чином, метою роботи є розробка нового способу захисту сталевих деталей від ФЗ методом електроіскрового легування шляхом формування багатокомпонентних комплексних CS-Al покриттів для підвищення значень

зносостійкості деталей, запобігання тертя. захоплення і підвищення стійкості до атмосферної корозії.

Для визначення впливу енергетичних параметрів обладнання ESA на якісні показники покриттів були виготовлені зразки сталі марки 38Х2МЮА з розміром зразків 15x15x8 мм, на які наносили консистентну речовину у вигляді сірчаної мазі з вмістом сірки 33,3%. Перед нанесенням до сірчаної мазі додали алюмінієву пудру марки ПАД-0 (ПАД-0 (ГОСТ 5494-95)). Максимальна кількість порошку становила 56%. Подальше збільшення кількості порошку призвело до зниження адгезії з поверхнею, що алюмініювалася. Після цього, не чекаючи висихання консистенції, проводили процес за методом ESA із застосуванням графітового електрода марки ЭГ-4 на установці моделі «Елітрон – 52А» з використанням різних режимів роботи. В такому разі, значення енергії розряду $W_u = 0,13; 0,52$ і 4,9 Дж.

Кожен режим методу ESA відповідав власній енергії розряду та продуктивності, тобто площі утвореного покриття за одиницю часу (табл. 1).

Таблиця 1. Залежність продуктивності ESA від енергії розряду

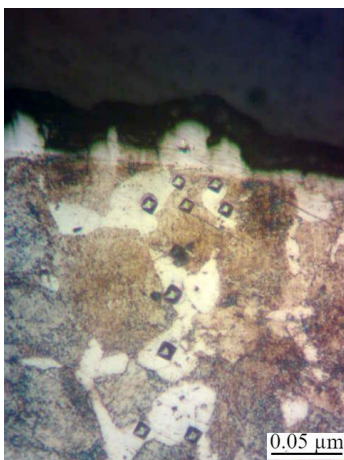
Енергія розряду (W_u), Дж	0,13	0,52	4.6
Продуктивність, см ² /хв	0,5-0,7	1,0-1,3	2,0-2,5

Слід зазначити, що зниження продуктивності процесу методом ESA тягне за собою зниження якісних параметрів поверхневого шару, тобто виникнення опіків, а головне, руйнування утвореного шару, що особливо впливає при обробці на «грубих» режимах з енергією розряду $W_u > 1$ Дж. Збільшення продуктивності призводить до зниження безперервності покриття.

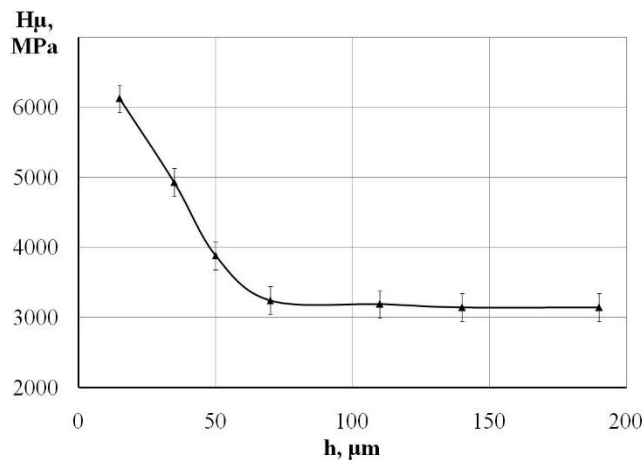
Металографічний аналіз покриттів проводили за допомогою оптичного мікроскопа моделі МІМ-7 (МІМ-7); дюраметричні дослідження проводили на приладі моделі ПМТ-3 (ПМТ-3). Шорсткість поверхні після обробки методом ESA визначали за допомогою профілографа-профілометра моделі 201 виробництва заводу «Калібр» шляхом зчитування та обробки профілограм.

Для вивчення розподілу елементів по глибині шару було проведено локальний рентгенівський мікроаналіз за допомогою скануючого електронного мікроскопа типу Joel JSM-5400, оснащеного мікроаналізатором, що надається приладами ISIS 300 Oxford.

На рисунку 1 показана мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості для поверхневого шару (б) зі сталі 38Х2МЮА при обробці методом ESA з $W_u = 0,13$ Дж. Металографічний аналіз показав, що отриманий шар неоднорідний і низька безперервність (близько 70%). Покриття CS-Al складається з трьох зон: білого шару глибиною ~ 10 мкм, який не піддається травленню звичайними реагентами, знизу знаходиться перехідний (дифузійний) шар глибиною ~ 20 мкм, і основа метал, а саме сталь 38Х2МЮА. Аналізуючи розподіл мікротвердості по глибині шару, слід зазначити, що в результаті електроіскрового легування утворюється покриття, яке характеризується найбільшим значенням твердості (до $H_\mu = 6100$ МПа) для білого шару (рис.1).



а



б

Рисунок 1. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) для поверхневого шару сталі 38Х2МЮА за методом ESA з $W_u = 0,13$ Дж.

Результати мікрорентгенспектрального аналізу (рис. 2) свідчать, що після обробки методом ESA з $W_u = 0,13$ Дж у поверхневому шарі спостерігається підвищений вміст вуглецю, сірки та алюмінію на відстані до 20, 40 і 35 мкм відповідно, а кількість заліза трохи зменшується до 25 мкм.

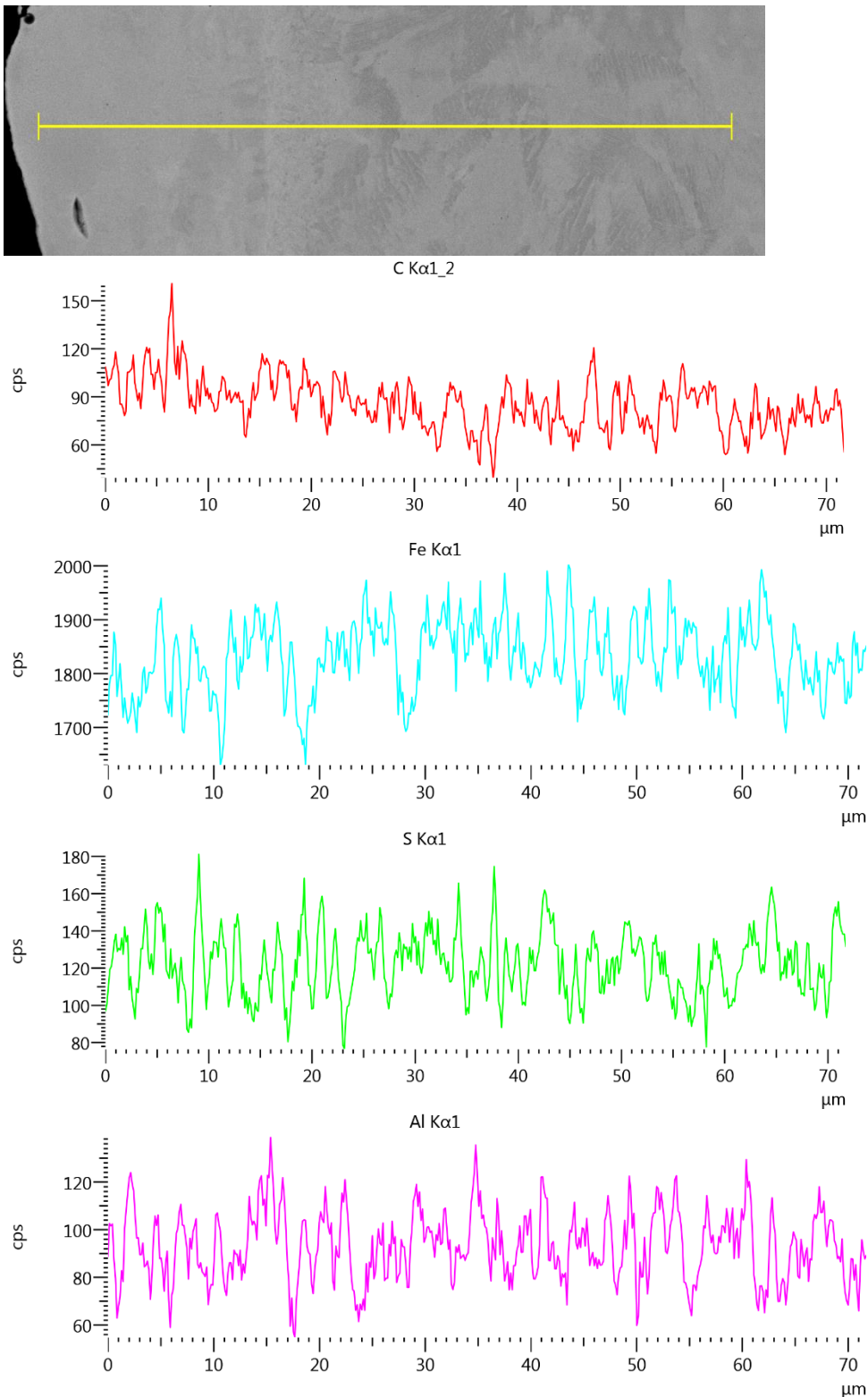


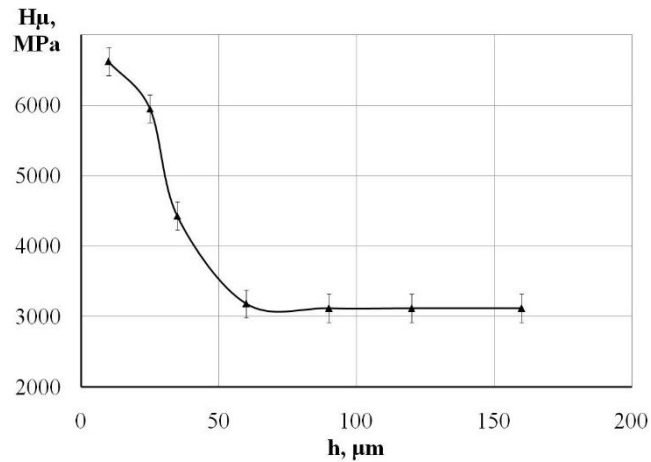
Рисунок 2. Розподіл елементів у поверхневому шарі сталі 38X2МЮА за методом ESA з $W_u = 0,13$ Дж.

При збільшенні енергії розряду до $W_u = 0,52$ Дж спостерігається утворення більш суцільного шару покриття (до 85-90%). Так само, як і при $W_u = 0,13$ Дж, шар складається з 3 зон (рис. 3, а). Однак із збільшенням енергії розряду

твердість і розміри зон збільшуються (рис. 3). Так, твердість білого шару $H_{\mu} \sim 6600$ МПа і її значення (h) $\sim 20\text{--}30$ мкм, перехідного шару - $H_{\mu} = 4500\text{--}5000$ МПа, $h \sim 20$ мкм.



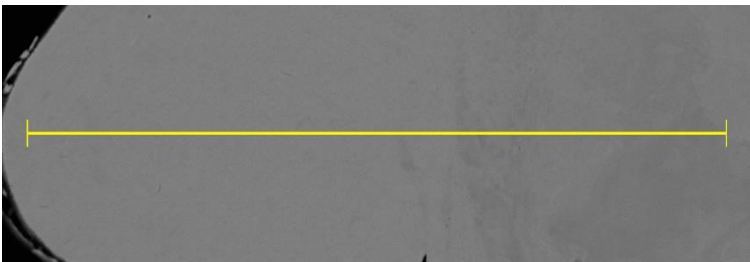
а



б

Рисунок 3. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поверхневого шару сталі 38X2МЮА при обробці методом ESA з $W_u = 0,52$ Дж.

На рисунку 4 показані результати локального мікрорентгеноспектрального аналізу складних покриттів CS-Al після їх обробки методом ESA з $W_u = 0,52$ Дж. Як видно з малюнка, в результаті ESA, вуглець, сірка та алюміній дифундують глибоко в підкладку, а саме сталь 38X2МЮА. Спостерігається підвищений вміст C, S та Al відповідно на відстані 45, 65 та 57 мкм, починаючи від поверхні, при незначному зменшенні вмісту заліза (на відстані ~ 55 мкм), (рис.4).



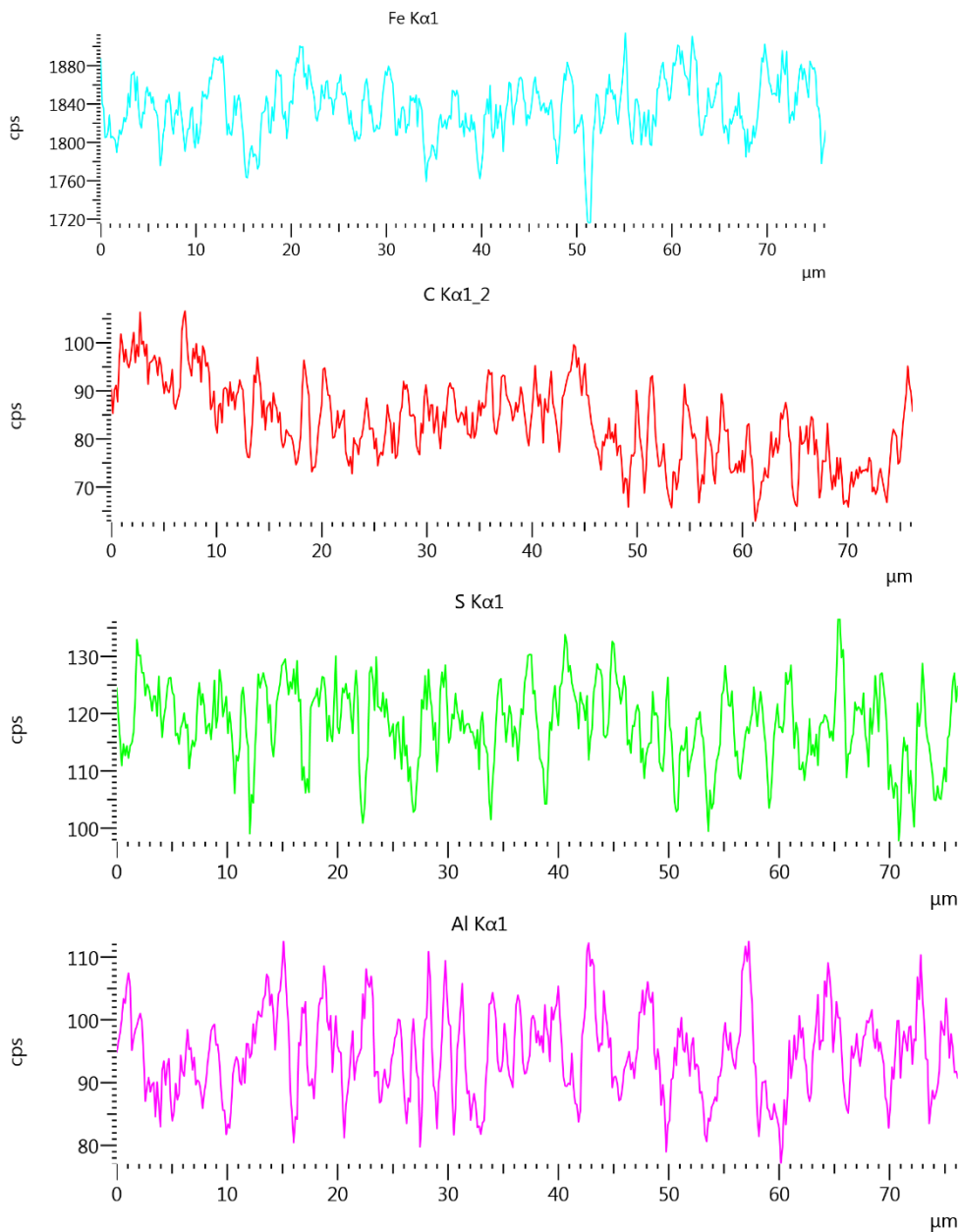
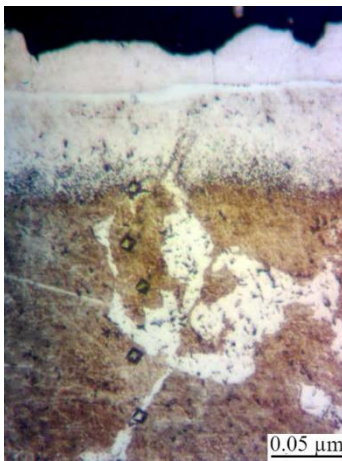
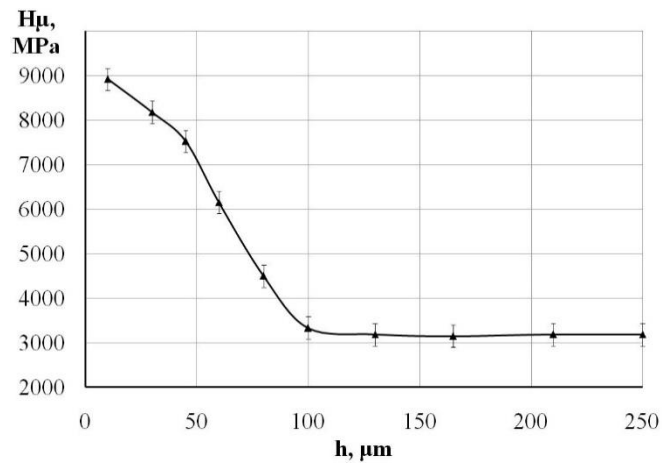


Рисунок 4. Розподіл елементів у поверхневому шарі сталі 38X2МЮА після обробки методом ESA з $W_u = 0,52$ Дж.

На рисунку 5 показана мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості поверхнього шару (б) сталі 38X2МЮА при обробці її методом ESA з $W_u = 4,9$ Дж. При цьому суцільність шару становить 100 %. Покриття складається з 4 зон. Це: 1 - Досить масивний верхній білий шар товщиною до 50 мкм і з $H_u \sim 8900$ МПа, 2 - Легкий підшар (20 - 30 мкм) з мікротвердістю близько 6500 МПа, 3 - Перехідна зона ~ 20 мкм. товщиною, $H_u = 4000 - 4500$ МПа і 4 - Основний метал $H_u = 3100-3200$ МПа (рис.5).



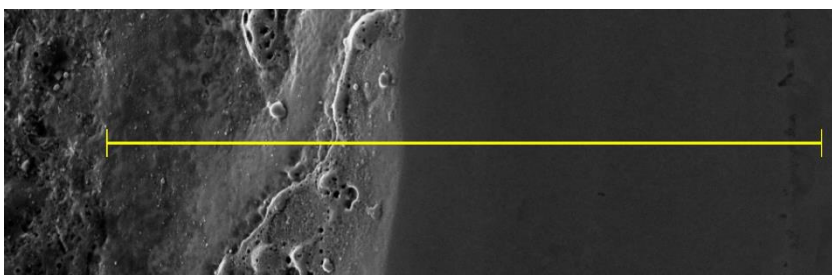
а



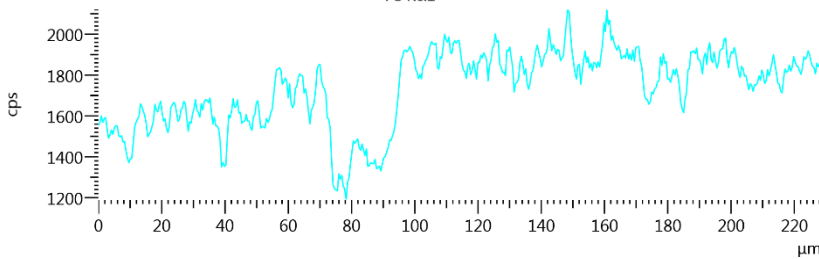
б

Рисунок 5. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поверхневого шару сталі 38X2МЮА при обробці його методом ESA з $W_u = 4,9$ Дж.

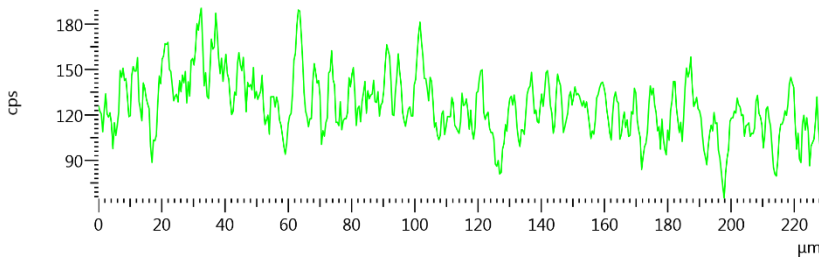
На рисунку 6 показані результати електронно-мікроскопічних досліджень та локального рентгенівського мікроаналізу.



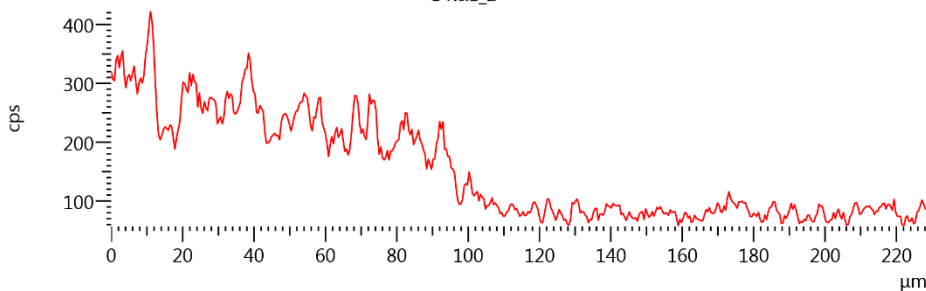
Fe Kα1



S Kα1



C Kα1_2



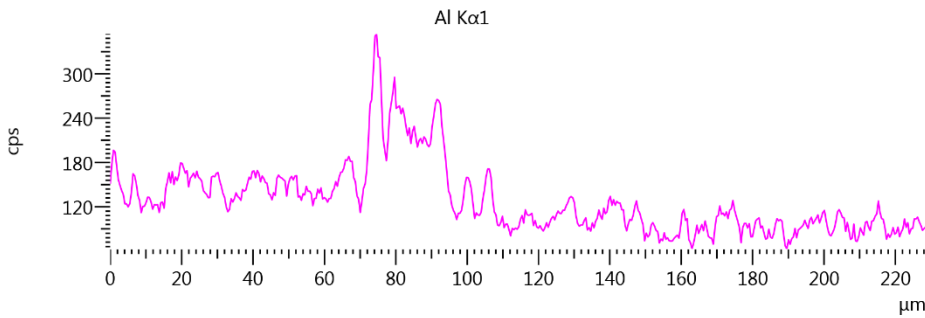


Рисунок 6. Розподіл елементів у поверхневому шарі сталі 38X2МЮА за методом ESA з $W_u = 4,9$ Дж.

На мікроструктурі, отриманій за допомогою скануючого мікроскопа, також спостерігаються 4 зони: поверхневий шар, підшар, перехідний шар і основний метал. Дослідження розподілу елементів по глибині покриття показали, що сірка і вуглець зосереджені переважно на поверхні і на глибині до 100 мкм. Алюміній розподілений у поверхневому шарі нерівномірно, і найбільша його кількість спостерігається на відстані від 60 до 110 мкм від поверхні, при цьому вміст заліза в ньому зменшується. Можна припустити, що вуглець- і сірковмісні фази переважно утворюються в приповерхневих шарах, а алюмінієвмісні — у перехідній зоні.

У таблиці 2 наведені якісні параметри комплексних покриттів CS-Al на сталі 38X2МЮА, отриманих методом електроіскрового легування на різних режимах.

Таблиця 2. Параметри якості комплексу CS-Al-покриттів на сталі 38X2МЮА після обробки методом ESA

Енергія розряду, Дж.	Товщина білого шару, мкм	Білий шар мікро-твердість, МПа	Шорсткість мкм			Білий шар суцільн., %
			Ra	Rz	Rmax	
0,13	10	6100±50	1.7	3.3	8.1	70
0,52	30	6600±50	2.3	3.9	9.1	90
4.9	50	8900±50	4.2	8.7	30.2	100

1. У результаті проведених досліджень розроблено технологічні рекомендації формування методом ESA на контактуючих поверхнях деталей з'єднання з натягом спеціальних покриттів, що забезпечують зниження впливу фреттинг процесу на надійність і довговічність, як поєднання «напівмуфта-вал».

2. Одночасне проведення на поверхнях маточини, в районі її торців, методом ESA процесів алітування, сульфідуювання та цементації покращує опори фреттинг-корозії, запобігає схоплюванню контактуючих поверхонь, забезпечує підвищення мікротвердості та зносостійкості поверхні, а також герметичність сполуки.

3. Проведено металографічний та дюрOMETричний аналізи поверхневих шарів конструкційної сталі марки 38X2MЮА після одночасного насичення їх вуглецем, сіркою та алюмінієм методом ESA. Показано, що шарова структура складається з трьох зон, а саме: білого шару, зони дифузії та основного металу. Зі збільшенням енергії розряду від 0,13 до 4,9 Дж товщина, мікротвердість і суцільність білого шару збільшуються відповідно з 10 до 50 мкм, з 6100 до 8900 МПа і з 70 до 100%, а також поверхня шорсткість (R_a , R_z і R_{max}) від 1,7; 3.3 і 8.1 до 4.2; 8.7 і 30.2 відповідно.

4. Наявність сірки в консистентній речовині сприяє забезпеченню процесу сульфідуювання. При обробці методом ESA з енергією розряду 4,9 Дж вміст сірки зменшується у міру заглиблення від поверхні, а на глибині 100 мкм відповідає кількості сірки в основі.

9.4 Формоутворення зубів відрізних пил з нерівномірним кроком дисковими обкатними фрезами

Теорія формоутворення поверхонь при механічній обробці була заснована член-кореспондентом НАН України, професором Родіним Петром Родіоновичем та розвинена його послідовниками, викладалась у багатьох підручних [531, 532, 533]. При обробці поверхні будь якої деталі інструмент, закріплений на верстаті рухається. Також в процесі обробки може рухатися і деталь. В результаті цих рухів відносно заготовки інструмент своїми робочими елементами дотикається до матеріалу деталі та утворює потрібну форму і розмір виробу. Тому форма обробленої поверхні визначатиметься формою та розмірами елементів інструмента та його рухами відносно заготовки [531, 533]. Але обробка заданої поверхні деталі не завжди можлива у точній відповідності до креслення. Будь який верстат має кінематичну схему, яка дозволяє рухатись інструменту і деталі в визначених напрямках. Тому мають місце випадки, коли неможливо взагалі обробити задану поверхню на вибраному обладнанні, тобто при вибраній кінематичній схемі обробки. В цих випадках при обробці заданої деталі відбувається зрізання частини матеріалу деталі, або навпаки, коли частина припуску залишається незрізаною [531, 533]. Саме завдяки теорії формоутворення деталей при механічній обробці можуть бути виявлені причини відхилень обробленої поверхні деталі від її заданих розмірів. Також ця теорія дозволяє з'ясувати, за яких значень відхилень немає або вони знаходяться у допустимих межах.

Щоб визначити можливість утворення поверхні деталі перш за все потрібно знати рухи, які здійснюються інструментом і заготовкою. Аналізуючи процес формоутворення поверхні деталі, необхідно розглянути рух поверхні деталі відносно інструменту при обробленні. Наступною задачею є визначення вихідної інструментальної поверхні, яка спряжена з поверхнею деталі при заданій кінематичній схемі обробки, тобто при певних рухах заготовки та інструменту. Обробка деталі відбувається різальними кромками інструменту. У

загальному випадку різальні кромки інструмента можуть мати профілюючі та непрофілюючі ділянки. Поверхню, на якій можуть розташовуватися профілюючі ділянки різальних кромок, називають вихідною інструментальною поверхнею [531, 533]. Щоб обробка деталі відбувалась вихідна інструментальна поверхня та поверхня заготовки мають торкатися одна одної. Способи утворення та визначення вихідної інструментальної поверхні розглянуто в підручниках по теорії формоутворення [531, 533]. Вважається також, що в процесі обробки повністю відтворюється вихідна інструментальна поверхня.

В теорії формоутворення відомі три умови, при яких задана поверхня буде оброблена відповідно до креслення.

Першою необхідною умовою утворення поверхні деталі є умова існування вихідної інструментальної поверхні. В процесі обробки поверхні деталі в кожній точці цієї поверхні повинно виконуватися рівняння контакту: $\vec{N} \cdot \vec{V} = 0$, де \vec{N} - вектор нормалі до поверхні деталі, а \vec{V} швидкість сумарного руху деталі відносно інструменту. Оскільки форма оброблюваної поверхні є відомою, тобто напрям вектору нормалі до цієї поверхні є також відомим, то з цього рівняння випливає, що тільки зміною напрямку сумарного вектору швидкості можна витримати першу умову формоутворення. Змінити напрям швидкості можна за рахунок встановлення положення деталі або за рахунок зміни характеру рухів, які здійснюються заготовкою та інструментом. Приклади утворення різних поверхонь при різних рухах інструменту і заготовки розглянути більш детально в літературі по формоутворенню [531, 532, 533].

Наступною, другою умовою формоутворення є умова контакту інструментальної поверхні з оброблюваною поверхнею без проникнення в тіло деталі [531, 533].

Вихідна інструментальна поверхня та поверхня деталі дотикаються одна одної вздовж лінії, яку називають характеристикою [531]. У деяких випадках при проектуванні інструментів немає необхідності у визначенні всієї вихідної інструментальної поверхні тоді для спрощення вирішення задач на практиці

характеристику приймають за різальну кромку або беруть для багатозубого інструменту сукупність характеристик, визначених у різні моменти часу [531].

Як що розглянути взаємне розташування поверхні, яка обмежує тіло деталі і поверхні, обмежуючої вихідне тіло інструмента, дотик цих двох поверхонь може бути внутрішнім та зовнішнім. Як що вихідна інструментальна поверхня, дотична до поверхні деталі, розташована поза тілом деталі то буде присутній зовнішній дотик і, в такому випадку проникнення вихідної інструментальної поверхні в тіло деталі не буде, тобто не буде зрізування частини матеріалу деталі. Поверхня деталі буде сформована відповідно до кресленика. Як що дотик вихідної інструментальної деталі та поверхні деталі буде внутрішнім, вихідна інструментальна поверхня буде проникати в тіло деталі і буде спостерігатися зрізування частини тіла оброблювальної деталі. В цьому випадку частини поверхні деталі в процесі її обробки будуть зрізані, та отримана деталь не буде відповідати кресленику. Таким чином при взаємному проникненні вихідної інструментальної поверхні та поверхні деталі оброблення заданої деталі відповідно до кресленика неможливе.

Згідно теорії формоутворення поверхонь, спряжені поверхні розглядаються в січних площинах де і спостерігається їх контакт [531, 533]. На схемах зображених на рисунку 1 наведені різноманітні види контакту профілів вихідної інструментальної поверхні та поверхні деталі.

Як що профіль вихідної інструментальної поверхні та поверхні деталі випуклі (рис. 1 а), взаємопроникнення спряжених профілів у зоні контакту не буде за будь-яких радіусів кривизни. Якщо випуклий профіль контактує з ввігнутих (рис. 1, б), проникнення спряжених профілів не буде тоді, коли радіус кривизни ввігнутого профілю буде більшим за радіус кривизни випуклого [533].

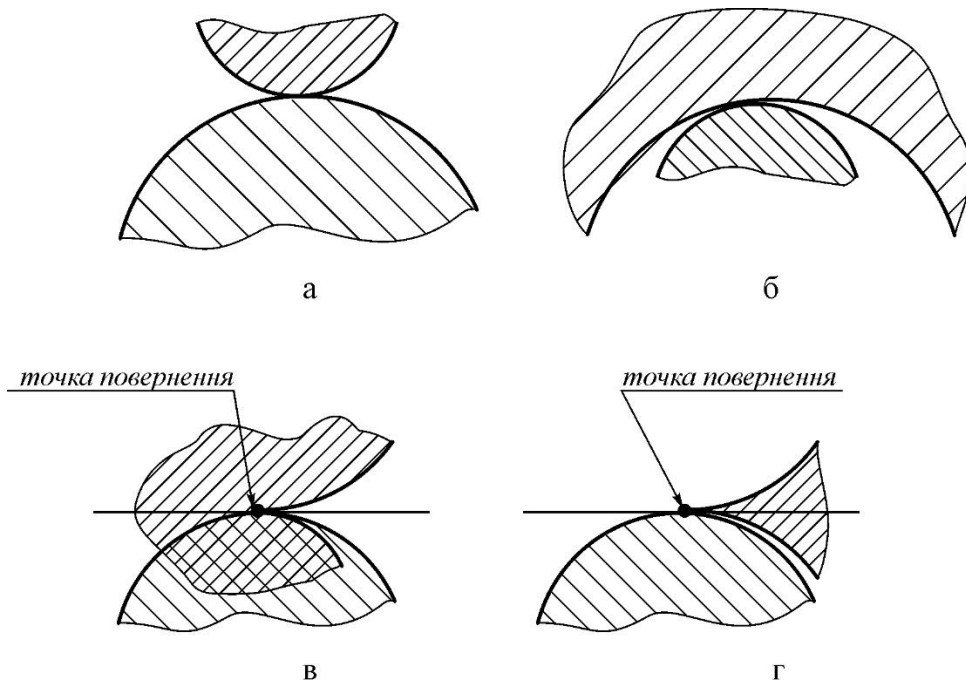


Рисунок 1. Види контакту вихідної інструментальної поверхні та поверхні деталі [533]

Спряжені профілі вихідної інструментальної поверхні та поверхні деталі можуть мати особливі точки — точки повернення, в яких змінюється сторона контакту спряжених профілів (рис. 1, в, г). У цьому випадку практично прийнятий профіль буде обмежений точкою повернення [533].

Також може спостерігатися випадок, коли можливе проникнення вихідної інструментальної поверхні в тіло оброблювальної деталі не в зоні контакту спряжених поверхонь, а на деякій відстані друг від друга, а також при зближенні вихідної інструментальної поверхні та поверхні деталі. Також слід враховувати те, що взаємне розташування вихідної інструментальної поверхні та поверхні деталі в процесі обробки може змінюватись.

Таким чином для того, щоб забезпечити обробку заданої деталі відповідно до кресленика потрібно виконання другої умови формоутворення.

Остання третя умова формоутворення це умова не перетину суміжних ділянок вихідних інструментальних поверхонь [533].

Оброблені поверхні деталі складаються з ряду суміжних ділянок. Наприклад, як що роздивитися відрізу пилу з дрібним зубом прямолінійного

профілю (рис. 2), то поверхня зуба складається з трьох ділянок – дві прямолінійні поверхні зуба (1, 2) та криволінійна поверхні стружкової канавки (3).

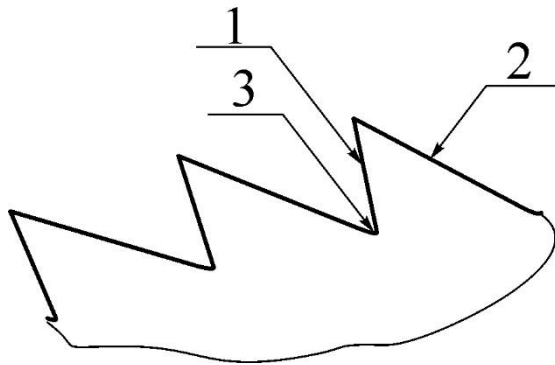


Рисунок 2. Профіль відрізної пили з дрібним зубом

Для того, щоб обробити цей профіль вихідна інструментальна поверхня повинна також складатися з ряду ділянок, спряжених з відповідними поверхнями деталі. Суміжні ділянки вихідної інструментальної поверхні можуть перетинати одна одну (рис. 3, а), торкатися одна одної (рис. 3, б) або знаходитися одна від одної на певній відстані (рис. 3, в) [533].

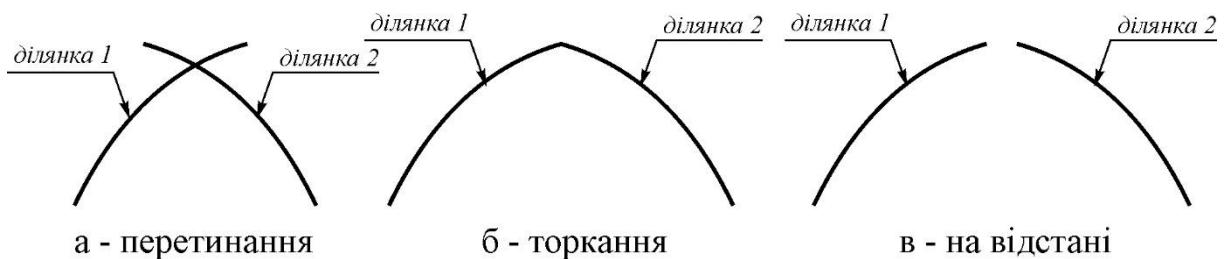


Рисунок 3 – Суміжні ділянки вихідної інструментальної поверхні

Відповідно до положень теорії формоутворення [531, 533], якщо суміжні ділянки вихідної інструментальної поверхні стикаються одна з одною або відстоять одна від одної на певній відстані то при проектуванні інструмента вони можуть бути повністю відтворені [533] та обробка заданої поверхні деталі можлива у відповідності до кресленника.

Коли суміжні ділянки початкової інструментальної поверхні перетинаються одна з одною на різальній частині інструмента практично не можливо повністю відтворити суміжні ділянки початкової інструментальної поверхні [533]. На межі суміжних ділянок деталі утворюватимуться так звані

перехідні поверхні, які створюються граничною лінією перетину суміжних ділянок початкової інструментальної поверхні при її русі щодо заготовки [531, 533]. На перехідних поверхнях спостерігається їх кромкове зіткнення з початковою інструментальною поверхнею.

Слід враховувати, що в деяких випадках фасонні поверхні деталей доцільно формувати граничною лінією перетину суміжних ділянок початкової інструментальної поверхні. Це іноді допомагає при відносно простій формі початкової інструментальної поверхні та граничної лінії перетину суміжних ділянок обробляти складні фасонні поверхні. Цей спосіб часто поєднується з утворенням поверхні деталі початковою інструментальною поверхнею при їх взаємному торканні [533]. Саме цей випадок буде розглянутий далі при розробці інструмента для обробки зубів відрізних пил з дрібним кроком прямолінійного профілю.

Аналіз показує, що задача визначення вихідних інструментальних поверхонь, спряжених з поверхнею деталі, з урахуванням умов формоутворення, має багато допустимих рішень.

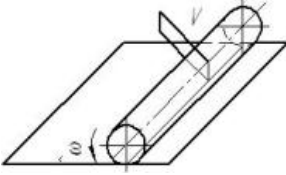
При проектуванні різального інструмента окрім визначення вихідної інструментальної поверхні та знайдення відповідних різальних інструментів, необхідно розглядати різні варіанти рухів поверхні деталі відносно інструменту. Сукупність рухів поверхні деталі відносно інструмента вважатимемо кінематичною схемою формоутворення [533]. Згідно теорії формоутворення немає різниці якими поєднаннями рухів заготовки та інструменту отримано на верстаті відносний рух [531, 533]. Обираючи різні рухи поверхні деталі відносно інструмента при визначенні вихідної поверхні, можна утворювати різні кінематичні схеми формоутворення.

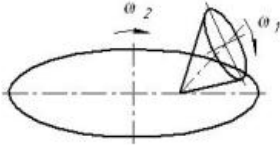
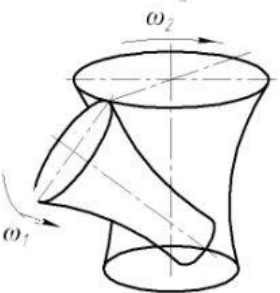
Класифікація принципів схем обробки була розроблена академіком, проф. Г. І. Грановським. Схеми оброблення він назвав кінематичними схемами різання [534]. Вони відображають абсолютні рухи, що надаються у процесі різання механізмом верстата інструменту та оброблюваній заготовці. Рух холостих циклів, під час яких інструмент та заготовка не стикаються один з

одною, принципними кінематичними схемами різання не виражаються. Всі принципні кінематичні схеми різання, за якими здійснюється обробка різанням, засновані на поєднаннях прямолінійно-поступального та обертального рухів. Кількість рухів, що використовується в кінематичній схемі різання, різняться. Залежно від цього, кінематичні схеми різання класифікуються по групах. Класифікація всіх кінематичних схем різання наведена в [534].

При обробці відрізних пил з дрібним зубом прямолінійного профіля розглянута кінематична схема обробки на зубофрезерному верстаті методом обкатки, що відповідає третьому класу кінематичних схем формоутворення (табл. 1). Кінематичні схеми формоутворення третього класу характеризуються тим, що відносний рух поверхні деталі відносно вихідної інструментальної поверхні є миттєвим гвинтовим рухом. До третього класу належать три типи кінематичних схем формоутворення, за яких аксоїди обкочуються один по одному із ковзанням [533, 534].

Таблиця 1. Схеми формоутворення поверхонь третього класу [533]

Клас схеми	Тип схеми	Складові рухи виробу та інструменту, що враховуються при профілюванні	Сумарний миттєвий рух	Представлення відносного руху за допомогою аксоїдів	Ескіз взаємного розташування аксоїдів	Аксоїди
						Кільце інструменту Кільце виробу
III	1	Обертальний та поступальний, швидкість якого направлена під кутом до осі обертання	Гвинтовий рух	Кочення із ковзанням циліндра по площині		Кільце інструменту Кільце виробу

Ш	2	<p>Два обертання осей, що схрещуються (кут між однієї з осей обертання та віссю результуючої прямої гвинта. Вісь миттєвого гвинта та вісь обертання – прямі, що перетинаються)</p>	Гвинтовий	Кочення із ковзанням конуса по площині		Конус Площина
Ш	3	<p>Два обертання навколо осей, що схрещуються</p>	Гвинтовий	Кочення із ковзанням гіперболоїда по гіперболоїду		Гіперболоїд Гіперболоїд

Аксоїдами можуть бути циліндр та площина, конус та площина, гіперболоїд та гіперболоїд. У схем третього класу відносний миттєвий гвинтовий рух поверхні деталі відносно вихідної інструментальної поверхні є результатом двох обертань навколо мимобіжних осей.

Згідно положень теорії формоутворення поверхонь обробка зубів пил обкатними фрезами, як вже зазначалося, відноситься до схеми третього класу, яка зводиться до кочення з ковзанням гіперболоїда по гіперболоїду.

Основні положення теорії формоутворення багатозубих виробів до яких відносяться і пили з рівномірним кроком, дисковими обкатними фрезами викладені в роботі [535] на прикладі формоутворення зубів храпових коліс з прямолінійним профілем зубів. В цьому випадку розглядаються неперервні рухи обертання фрези і виробу, кінематично пов'язані один з одним.

При обробці відрізних пил з числом зубів Z , обкатна фреза і заготовка обертаються навколо своїх осей (рис. 4). При повороті на один зуб фрези заготовка пили також повертається на один зуб [536, 537]. Для однозубої фрези одному її оберту відповідає поворот пили на $1/Z$ оберту. Для фрези, що має Z_0 зубів:

$$\frac{\omega}{\omega_{\phi}} = \frac{Z_0}{Z} = U \quad (1)$$

де ω — кутова швидкість обертання заготовки;

ω_{ϕ} — кутова швидкість обертання дискової обкатної фрези.

У відповідності з рівнянням (1), кути повороту обкатної фрези і заготовки пили пов'язані залежністю

$$\frac{\rho}{\rho_{\phi}} = \frac{Z_0}{Z} = U \quad (2)$$

де ρ - кут повороту виробу за певний проміжок часу;

ρ_{ϕ} - кут повороту дискової обкатної фрези, що відповідає повороту пили на кут ρ , за той же проміжок часу.

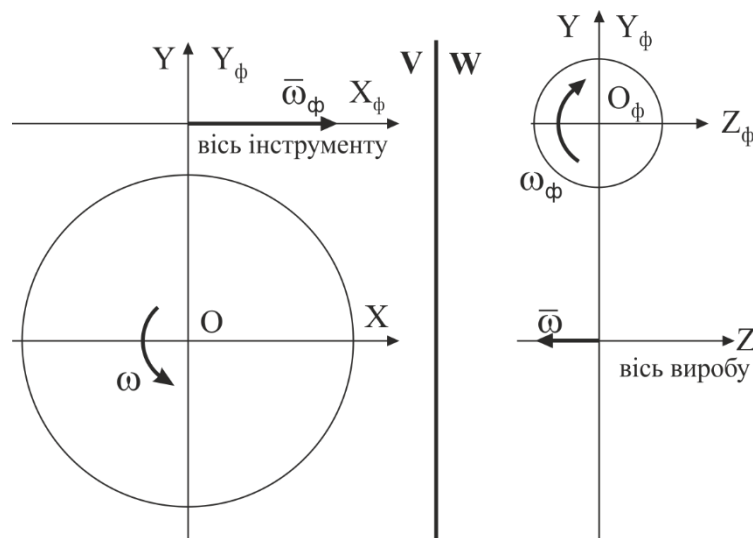


Рисунок 4. Схема обробки багатозубих виробів на зубофрезерному верстаті

Крім обертальних рухів при обробці здійснюється повільний рух подачі, який при обробці прямозубих пил буде прямолінійно-поступальним [536]. Рух подачі призводить до ковзання поверхні виробу "самої по собі" і не впливає на характер контактування вихідної інструментальної поверхні і поверхні виробу.

Проте, як показав аналіз, багатозубі вироби з рівномірним кроком, в тому числі і пили являють собою окремий випадок виробів з нерівномірним кроком.

В основу розробки дискових обкатних фрез покладена теорія формоутворення одного профілю, який в залежності від кількості зубів обкатної фрези рівномірно розташовують по колу.

Для того, щоб отримати нерівномірний крок зубів пили, дискова обкатна фреза проектується також з нерівномірним кроком зубів. Величина нерівномірності кутового кроку зубів дискової обкатної фрези залежить від необхідної нерівномірності кроку зубів виробу. Вважаємо, що пила має чотири зуба у групі, тоді кутові кроки зубів оброблюваного виробу будуть рівними ε_{11} ; ε_{12} ; ε_{13} ; ε_{14} . Відповідно кутові кроки дискової обкатної фрези розраховуються таким чином:

$$\varepsilon_{\phi 1} = \frac{\varepsilon_{11}}{U_{11}}, \varepsilon_{\phi 2} = \frac{\varepsilon_{12}}{U_{12}}, \varepsilon_{\phi 3} = \frac{\varepsilon_{13}}{U_{13}}, \varepsilon_{\phi 4} = \frac{\varepsilon_{14}}{U_{14}} \quad (3)$$

Саме визначення значень кутових кроків покладене в основу вихідних даних для формоутворення дискових обкатних фрез з нерівномірним кроком зубів. При формоутворенні дискових обкатних фрез з нерівномірним кроком розглядається установка осі дискової обкатної фрези нахилена що до осі пили, як загальний випадок обробки.

Дискові обкатні фрези проектуються на основі вихідної інструментальної поверхні з лінійним контактом з поверхнею виробу [531, 533].

При визначенні вихідної інструментальної поверхні розглядається рух відрізної пили відносно інструменту. Як вже згадувалось, два взаємопов'язаних обертання призводять до гвинтового руху [531, 533]. Оброблювальна поверхня пили з прямими зубами обмежується двома площинами, одна з яких є передньою площиною оброблюваного зуба пили, друга площина є потиличною. З точки зору подальшої роботи відрізної пили важливо забезпечити правильну обробку передньої площини і отримати необхідний передній кут γ зубів пили.

Точність обробки потиличної площини допускається менша. Тому при проектуванні дискових обкатних фрез можна наближено визначати профіль фрези, пов'язаний з обробкою потиличної площини. Передню ж площину необхідно сформувати точно. Як було сказано вище, в будь-який момент часу передня площина зуба пили щодо інструменту (дискової обкатної фрези) здійснює миттєвий гвинтовий рух.

Із теорії формоутворення відомо, що при гвинтовому русі площини характеристикою буде пряма лінія [531, 533]. Іншими словами, в будь-який момент часу інструментальна поверхня і передня площина оброблюваного зуба пили будуть дотикатися один до одного по прямій лінії (характеристиці), тобто лінії контакту поверхні деталі і вихідної інструментальної поверхні, знайденої в певний момент часу при певному взаємному розташуванні поверхні деталі і вихідної інструментальної поверхні. Проектуючи дискову обкатну фрезу як різальну кромку, що формує передню площину зуба оброблюваної пили, доцільно прийняти характеристику, яка спрощує профілювання такого інструменту [531, 533].

Те, що геометрично точна дискова обкатна фреза при обробці зубів пили прямолінійного профілю (рис. 2) має прямолінійну різальну кромку, спрощує технологію її виготовлення і переточки в процесі експлуатації.

Кожен зуб такої фрези буде профілюючим та матиме свої параметри.

Виходячи з теорії формоутворення визначаються координати точок різальних кромки дискової обкатної фрези при нахиленій установці осі інструменту відносно осі відрізної пили, як більш загальний випадок обробки на зубофрезерном верстаті.

В якості різальної кромки дискової обкатної фрези при нахиленій установці її осі до осі пили приймається характеристика, яку треба визначити в той момент часу, коли передня поверхня займає положення, відповідне вибраному значенню кута ψ . З оброблюваною пилою пов'язана система координат XYZ (рис. 5). Вісь Z направлена вздовж осі пили, вісь Y - за лінією, що з'єднує два центра: пили та дискової обкатної фрези. Осі X і Y розташовуються в площині перпендикулярній осі пили.

З обкатною фрезою, пов'язана система координат $X_\phi Y_\phi Z_\phi$. Вісь Y_ϕ збігається з віссю Y , вісь X_ϕ співпадає з віссю інструмента, який обертається з кутовою швидкістю $-\bar{\omega}_\phi$. Формули перетворення координат у цьому випадку записуються таким чином:

$$X_{\phi} = X \cdot \cos \beta - Z \cdot \sin \beta, \quad (4)$$

$$Y_{\phi} = Y - a, \quad (5)$$

$$Z_{\phi} = Z \cdot \cos \beta + X \cdot \sin \beta. \quad (6)$$

де β - кут нахилу осі фрези.

Визначається характеристику на поверхні відрізної пили в той момент часу, коли її передня площина займає положення зображене на рисунку 5. Тоді рівняння передньої площини оброблюваної пили в системі XYZ буде:

$$Y = X \cdot \operatorname{ctg} \psi - \frac{0,5 \cdot D \cdot \sin \gamma}{\sin \psi} \quad (7)$$

На плоскій передній поверхні розглядається довільна точку $M(X, Y, Z)$. Швидкість точки M при обертанні навколо осі оброблюваної пили з кутовою швидкістю $\bar{\omega} = \bar{k} \cdot \omega$ буде:

$$\bar{V}_M = [\bar{\omega} \times \bar{r}_M]$$

$$\bar{V}_M = \bar{i} \cdot (-\omega \cdot Y) + \bar{j} \cdot \omega \cdot X$$

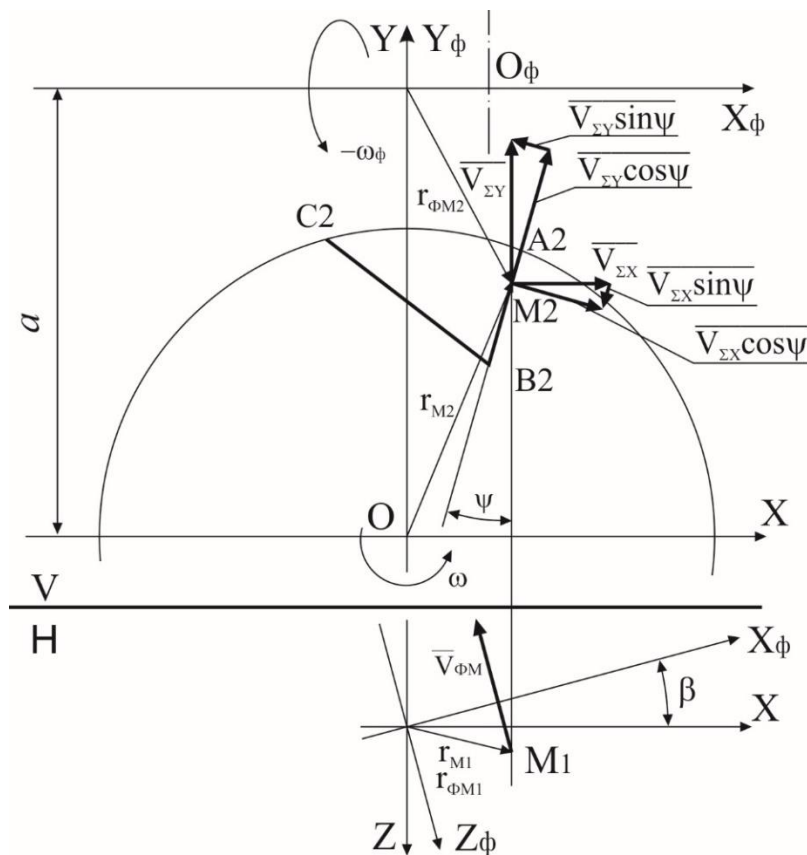


Рисунок 5. Схема для визначення координат точок різальних крамок дискової обкатної фрези при нахиленої осі інструменту відносно осі пили

Аналізуючи відносний рух інструменту і відрізної пили необхідно враховувати, що точка М бере участь також у русі обертання інструменту навколо його осі. В результаті обертання з кутовою швидкістю $\bar{\omega}_\phi$ навколо осі X_ϕ швидкість точки $M(X \cdot \cos \beta, Y - a, Z \cdot \sin \beta)$ в системі $X_\phi Y_\phi Z_\phi$ буде дорівнювати:

$$\bar{V}_{\phi M} = [\bar{\omega}_\phi \times \bar{r}_{\phi M}]$$

В системі XYZ маємо:

$$\bar{\omega}_\phi = \bar{i} \cdot \omega_\phi \cdot \cos \beta - \bar{k} \cdot \omega_\phi \cdot \sin \beta,$$

$$\bar{r}_{\phi M} = \bar{i} \cdot X + \bar{j} \cdot (Y - a) + \bar{k} \cdot Z.$$

Таким чином швидкість $\bar{V}_{\phi M}$ довільної точки М передньої площини зуба пили при обертанні навколо осі інструменту буде:

$$\bar{V}_{M1} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \omega_\phi \cdot \cos \beta & 0 & -\omega_\phi \cdot \sin \beta \\ X & Y - a & Z \end{vmatrix}$$

Розкриваючи визначник, отримаємо:

$$\bar{V}_{M1} = \bar{i} \cdot [\omega_\phi \cdot \sin \beta \cdot (Y - a)] - \bar{j} \cdot (Z \cdot \omega_\phi \cdot \cos \beta + X \cdot \omega_\phi \cdot \sin \beta) + \bar{k} \cdot [\omega_\phi \cdot \cos \beta \cdot (Y - a)]$$

Складова швидкості $\bar{k} \cdot [\omega_\phi \cdot \cos \beta \cdot (Y - a)]$ лежить у передній площині для будь-якої її точки. Тому при визначенні характеристики її можна не враховувати. Таким чином в точках характеристики необхідно, щоб наступний сумарний вектор \bar{V}_Σ лежав у передній площині [531, 533].

$$\bar{V}_\Sigma = \bar{i} \cdot [\omega_\phi \cdot \sin \beta \cdot (Y - a) - \omega \cdot Y] + \bar{j} \cdot [\omega \cdot X - \omega_\phi \cdot Z \cdot \cos \beta - \omega_\phi \cdot X \cdot \sin \beta], \quad (8)$$

$$\bar{V}_\Sigma = \bar{i} \cdot V_{\Sigma X} + \bar{j} \cdot V_{\Sigma Y}.$$

Кожен з розглянутих проекцій векторів $\bar{V}_{\Sigma X}$ і $\bar{V}_{\Sigma Y}$ розкладемо на два напрямки - на нормаль до передньої поверхні і на напрямок, що знаходиться в ній. Складові розглянутих векторів, що лежать в передній площині, можна при визначенні характеристики не враховувати. Сума складових векторів на нормаль до передньої поверхні в точках характеристики повинна дорівнювати нулю. У цьому випадку вектори швидкостей точок характеристики при їх відносному русі будуть лежати в передній площині.

Таким чином будемо мати:

$$V_{\Sigma X} \cdot \cos \psi = V_{\Sigma Y} \cdot \sin \psi$$

або

$$[\omega_{\phi} \cdot \sin \beta \cdot (Y - a) - \omega \cdot Y] \cdot \cos \psi = [\omega \cdot X - \omega_{\phi} \cdot Z \cdot \cos \beta - \omega_{\phi} \cdot X \cdot \sin \beta] \cdot \sin \psi$$

Визначаючи звідси координату Z , отримуємо:

$$Z = \frac{\omega}{\omega_{\phi}} \cdot \frac{(X + Y \cdot \operatorname{ctg} \psi)}{\cos \beta} - \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{ctg} \psi \cdot (Y - a) - X \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (9)$$

При $\beta=0$ отримуємо

$$Z = \frac{\omega}{\omega_{\phi}} \cdot (X + Y \cdot \operatorname{ctg} \psi)$$

Знаючи різальну кромку $A_i B_i$ створюємо на ній рекомендовані величини передніх кутів γ і таким чином визначаємо положення передньої поверхні. Так як при обробці потиличної плоскої поверхні вимоги високої точності відсутні, різальну кромку, яка обробляє потиличну площину, проводять через точку B_i і проекцію точки C_i на передню площину.

Поряд з визначенням форми різальних кромок для формоутворення зубів відрізних пил дискової обкатною фрезою, згідно теорії формоутворення, необхідно виконання другої умови формоутворення, а саме можливість обробки зубів без проникнення різальної кромки в тіло деталі. Для отримання прямолінійного профіля відрізної пили прямолінійними різальними кромками обкатної фрези необхідно визначити її мінімальний діаметр, при якому не буде проникнення різальних кромок в тіло заготовки в процесі обробки [531, 540].

Для спрощення, а також якщо врахувати той факт, що вісь дискової обкатної фрези нахилена до осі відрізної пили небезпека проникнення різальної кромки дискової обкатної фрези в тіло деталі зменшується, розглядаємо випадок коли вісь обкатної фрези встановлена перпендикулярно до осі пили [538].

Розглядаємо випадок, коли вершинна точка зуба обкатної фрези знаходиться в точці K западини профіля зуба пили. При цьому положення профілю відрізної пили характеризується кутом повороту $\psi + \gamma$, що забезпечує оброблення профілю в відповідності до креслення [531, 533].

Вважаємо, точка K різальної кромки дискової обкатної фрези розташовується в перерізі I - I (рис. 6), положення якого вибрано таким чином, щоб отримати певну величину кута ψ . В перерізі I - I при обертанні фрези навколо її осі буде переміщатися вершинна різальна кромка зуба, оскільки осі фрези і пили взаємо-перпендикулярні і при обробці дисковими обкатними фрезами спостерігається обертання фрези і відрізної пили навколо своїх осей [536].

За вихідний переріз пили приймаємо переріз перпендикулярний до її осі, в якому вершинна точка різальної кромки K обкатної фрези знаходиться в точці B западини профілю оброблюваної пили. Дотик різальної кромки зуба обкатної фрези, що обробляє передню поверхню пили, з її зовнішнім колом, позначимо точкою G , положення якої визначається кутами η_1 і η_2 .

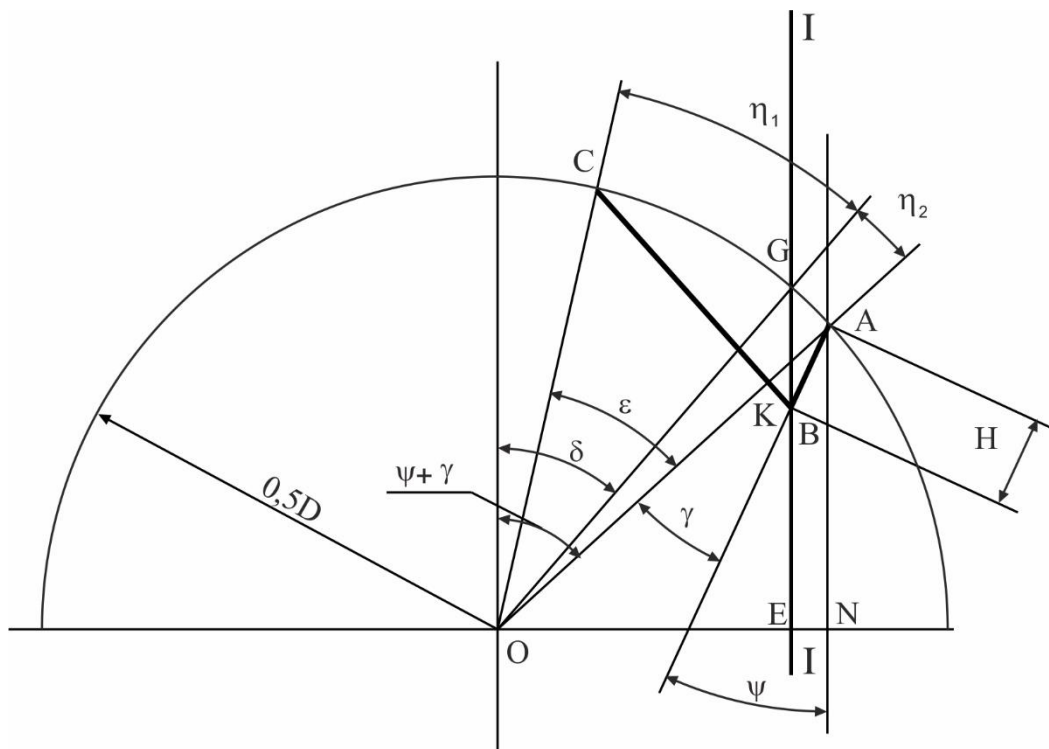


Рисунок 6. Схема визначення кутів η_1 і η_2 , коли вершинна точка зуба обкатної фрези K знаходиться в точці B западини профілю пили, та кути $\eta_1 \neq \eta_2$

Кут η_2 дорівнює:

$$\eta_2 = \psi + \gamma - \delta, \quad (10)$$

Визначимо кут δ (рис. 6). З побудови маємо:

$$ON = 0.5 \cdot D \cdot \sin(\psi + \gamma),$$

$$EN = H \cdot \sin \psi,$$

$$OE = ON - EN = 0.5 \cdot D \cdot \sin(\psi + \gamma) - H \cdot \sin \psi,$$

Тоді:

$$\sin \delta = \frac{OE}{0.5 \cdot D} = \sin(\psi + \gamma) - \frac{H}{0.5 \cdot D} \cdot \sin \psi \quad (11)$$

Кут η_2 дорівнює:

$$\eta_1 = \varepsilon - \eta_2.$$

З точки зору технології виготовлення, доцільно проектувати дискову обкатну фрезу з симетричним профілем. Тому практичний інтерес являє собою випадок, коли кути η_1 і η_2 дорівнюють один одному.

В цьому випадку величина кута ψ приймає цілком певне значення. Визначення глибини h_1 , коли кут $\eta_1 = \eta_2 = \eta$ наведено на рис. 7

Зображений профіль АВС пили. Кут ε розділено на дві рівні частини, і таким чином визначено положення точки G на зовнішньому колі виробу. Проведена лінія GK , яка з одного боку обмежує кут ψ . Іншою стороною, що обмежує ψ кут буде пряма AB . Профіль АВС повертається у вихідне положення на кут $(\psi + \gamma)$. Вихідне положення профілю зображено пунктиром.

З побудови маємо:

$$GF = 0.5 \cdot D \cdot \sin \eta,$$

$$MF = BL = H \cdot \sin \gamma,$$

$$GM = GF + MF = 0.5 \cdot D \cdot \sin \eta + H \cdot \sin \gamma,$$

$$OF = 0.5 \cdot D \cdot \cos \eta,$$

$$AF = 0.5 \cdot D - OF = 0.5 \cdot D \cdot (1 - \cos \eta),$$

$$AL = H \cdot \cos \gamma,$$

$$LF = AL - AF = H \cdot \cos \gamma - 0.5 \cdot D \cdot (1 - \cos \eta),$$

$$\angle GBM = \psi + \gamma,$$

$$\operatorname{tg}(\psi + \gamma) = \frac{GM}{MB},$$

$$\operatorname{tg}(\psi + \gamma) = \frac{0.5 \cdot D \cdot \sin \eta + H \cdot \sin \gamma}{H \cdot \cos \gamma - 0.5 \cdot D \cdot (1 - \cos \eta)} \quad (12)$$

У цьому випадку розмір GB дорівнює:

$$GB = \frac{GM}{\sin(\psi + \gamma)}$$

або

$$h_1 = GB = \frac{0.5 \cdot D \cdot \sin \eta + H \cdot \sin \gamma}{\sin(\psi + \gamma)} \quad (13)$$

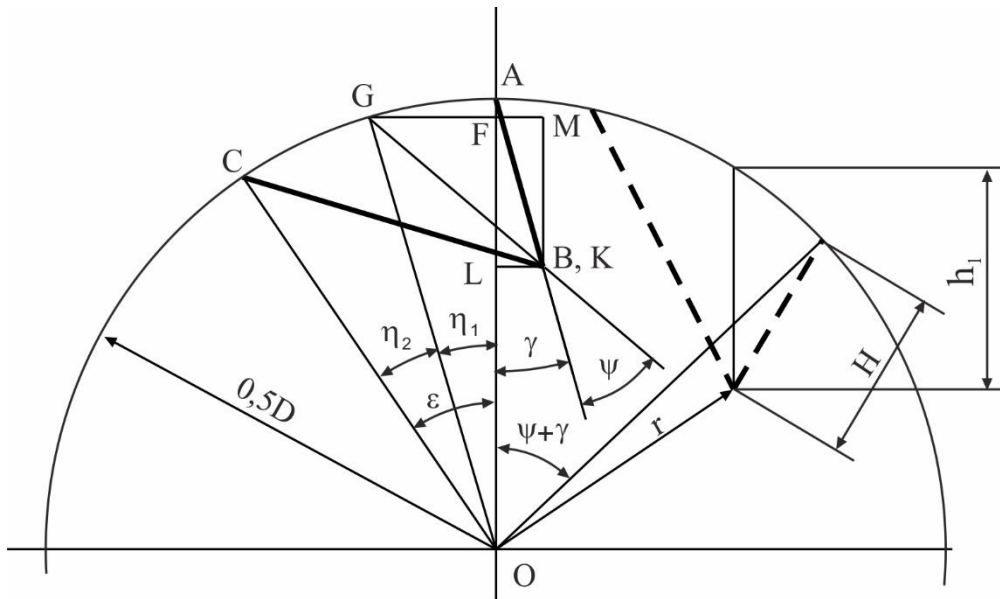


Рисунок 7. Схема визначення кутів η_1 і η_2 та глибини h_1 , коли вершинна точка зуба обкатної фрези K знаходиться в точці B западині профілю відрізної пили,

та кути $\eta_1 = \eta_2 = \eta$

При відомих величинах кутів η_1 і η_2 , визначення радіуса R_0 дискової обкатної фрези наведено на рис. 8 [540].

Площина проєкцій V обрана перпендикулярно осі фрези, а площину W - перпендикулярно осі пили.

У вихідному перерізі $\Pi - \Pi$ зображений профіль пили ABC (його проєкції позначені $A_3B_3C_3$ і $A_2B_2C_2$). В процесі обробки фреза обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю $\bar{\omega}_\phi$, а пила обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю $\bar{\omega}$. За час повороту дискової обкатної фрези на один зуб, пила також повертається на один зуб.

Отже, можемо записати:

$$\frac{\rho_\phi}{\rho} = \frac{Z}{Z_0}$$

де ρ_ϕ - кут повороту фрези;

ρ - відповідний кут повороту оброблюваної пили.

Вершинна точка різальної кромки обкатної фрези, обертаючись навколо осі, описує в перерізі I - I коло радіуса R_0 , яка в справжню величину проектується на площину V. Цей профіль ABC повертаємо за годинниковою стрілкою на кут ρ навколо осі пили і отримуємо профіль її зуба $A^I B^I C^I$ (Його проекції позначені $A^I_3 B^I_3 C^I_3$ і $A^I_2 B^I_2 C^I_2$) в перерізі III - III. Точка G розташовується, як видно з креслення, всередині профілю $A^I B^I C^I$. Тому в момент врізування не буде проникнення розглянутої точки різальної кромки в тіло виробу і друга умова формоутворення буде дотримуватися.

Граничний випадок буде тоді, коли точка G_3 збігається з точкою C^I_3 . В цьому випадку кут ρ повороту зуба пили при переході від перерізу II - II до перерізу III - III буде дорівнює:

$$\rho = \eta_1$$

Тому, для того, щоб в цій зоні дотримувалася друга умова формоутворення, кут ρ повинен бути менше η_1 або дорівнює йому.

$$\eta_1 \geq \rho$$

Для того, щоб одержати профіль зуба у другому крайньому перерізі IV - IV повернемо профіль ABC проти годинникової стрілки на кут ρ . Профіль зуба пили в перерізі IV - IV буде $A^{II} B^{II} C^{II}$ (його проекції позначені $A^{II}_3 B^{II}_3 C^{II}_3$ і $A^{II}_2 B^{II}_2 C^{II}_2$). Як видно з креслення, у цьому випадку точка G лежить за межами профілю $A^{II} B^{II} C^{II}$. Тому, в момент виходу з процесу різання крайня вершинна точка різальної кромки дискової обкатної фрези буде проникати в тіло зуба пили і обробка заданого профілю у відповідності з кресленням виявляється неможливою. В цьому випадку не виконується друга умова формоутворення. Граничний випадок буде тоді, коли точка G буде збігатися з точкою A^{II} , тоді кут

повороту ρ профілю зуба пили при переході від перетину II - II до перетину IV - IV повинен бути:

$$\rho = \eta_2$$

Отже, для того, щоб у момент виходу з контакту з зубом пили дотримувалась друга умова формоутворення, необхідно, щоб кут ρ був менший або дорівнює η_2 .

$$\eta_2 \geq \rho$$

Таким чином маємо:

$$\eta_1 \geq \rho,$$

$$\eta_2 \geq \rho,$$

$$\varepsilon = \eta_1 + \eta_2.$$

Виходячи з цього доцільно приймати кут $\eta_1 = \eta_2$.

Розрахункове мінімальне значення зовнішнього радіуса $R_{0\min}$ фрези визначається за формулою:

$$\cos \rho_\phi = \frac{R_{0\min} - h_1}{R_{0\min}}$$

звідси

$$R_{0\min} = \frac{h_1}{1 - \cos \rho_\phi} \quad (14)$$

де

$$\rho_\phi = \rho \frac{Z}{Z_0} \quad (15)$$

Таким чином з точки зору другої умови формоутворення, найбільша небезпека проникнення різальної кромки дискової обкатної фрези в тіло зуба пили має місце в вершинній точці різальної кромки. Аналіз показує, що найбільш часто це положення дотримується. Якщо виникає необхідність у перевірці дотримання другої умови формоутворення для інших точок різальної кромки, то методика розв'язання цієї задачі може бути прийнята тією ж самою, що і для вершинної точки різальної кромки.

У загальному випадку вісь дискової обкатної фрези встановлюється нахилено відносно осі пили. Але і в цьому випадку можна скористатися розробленою методикою визначення радіуса $R_{0\min}$ дискової обкатної фрези. Це пояснюється тим, що при нахиленій установці обкатної фрези небезпека проникнення різальної кромки фрези в тіло зуба зменшується.

Третя умова формоутворення - це умова не перетинання суміжних ділянок вихідної інструментальної поверхні [531, 533].

Відомо, що перетин суміжних ділянок ВІП і утворення перехідних поверхонь спостерігається при обробці за способом обкочування западин на деталях.

При обробці обкатними фрезами зубів пили з прямолінійним профілем оброблюваних канавок при установці осі дискової обкатної фрези перпендикулярно до осі виробу не витримується третя умова формоутворення. Суміжні ділянки вихідної інструментальної поверхні, пов'язані із суміжними ділянками оброблюваної канавки, перетинають один одного, і в западині зуба створюються перехідні поверхні. Це пояснюється тим, що на межі суміжних ділянок поверхні зуба спостерігається розрив характеристик, так як на прямій перетину суміжних ділянок поверхні зуба немає точки, в якій швидкість відносного руху дотикалась би лінії перетину суміжних ділянок [531, 533].

Обробити суміжні плоскі ділянки поверхні канавок зуба пили без перехідних кривих в западині зуба можна, використовуючи нахилenu установку осі фрези по відношенню до осі оброблюваної канавки [541].

При цьому кут нахилу осі фрези повинен мати певну величину, яка залежить від розмірів оброблюваної канавки і кінематики процесу.

Для виконання третьої умови формоутворення необхідно забезпечити виготовлення стружкових канавок відрізної пили без перехідних кривих.

У загальному випадку при обробці зубів пил з прямолінійним профілем при установці осі дискової обкатної фрези перпендикулярно до осі пили, спостерігається у западині поява перехідних поверхонь [531, 533, 542]. Як відомо з теорії формоутворення, обробка без перехідних поверхонь у западині зубів пил

буде в тому випадку, якщо суміжні ділянки вихідної інструментальної поверхні не перетинають один одного і на межі ділянок, характеристики не мають розриву і стикаються одна з одною. Для цього необхідно, щоб в одній з точок на межі суміжних ділянок поверхні зуба швидкість руху \bar{V} кожній точці його поверхні щодо інструменту торкалася лінії перетину суміжних ділянок поверхні зуба [543].

Межею ділянок при обробці зубів пил прямолінійного профілю буде твірна, якій належить точка B_i (рис. 5). Координати цієї точки будуть змінюватися для кожного профілю зуба у групі, та розраховуються за залежностями:

$$X_{Bi} = 0,5 \cdot D \cdot \sin(\psi + \gamma) - H_i \cdot \sin \psi, \quad (16)$$

$$Y_{Bi} = 0,5 \cdot D \cdot \cos(\psi + \gamma) - H_i \cdot \cos \psi. \quad (17)$$

Швидкість відносного руху довільної точки твірної, що проходить через точку В буде дорівнювати (рис. 5):

$$\begin{aligned} \bar{V} = & \bar{i} \cdot [\omega_\phi \cdot \sin \beta \cdot (Y_{Bi} - a) - \omega \cdot Y_{Bi}] - \bar{j} \cdot [\omega_\phi \cdot Z_{Bi} \cdot \cos \beta + \omega_\phi \cdot X_{Bi} \cdot \sin \beta - \omega \cdot X] + \\ & + \bar{k} \cdot [\omega_\phi \cdot \cos \beta \cdot (Y_{Bi} - a)] \end{aligned}$$

Для того щоб не було перехідної кривої в западині зуба швидкість \bar{V} повинна йти вздовж твірної, що відповідає точці B_i , і бути паралельною осі Z. Проекція швидкості на осі X і Y повинна дорівнювати нулю. Отже:

$$\begin{cases} \omega_\phi \cdot \sin \beta \cdot (Y_{Bi} - a) - \omega \cdot Y_{Bi} = 0 \\ \omega_\phi \cdot Z_{Bi} \cdot \cos \beta + \omega_\phi \cdot X_{Bi} \cdot \sin \beta - \omega \cdot X_{Bi} = 0 \end{cases} \quad (18)$$

З першого рівняння системи рівнянь (18) визначаємо кут нахилу осі обкатної фрези до осі виробу:

$$\sin \beta = \frac{\omega \cdot Y_{Bi}}{\omega_\phi \cdot (Y_{Bi} - a)} \quad (19)$$

З другого рівняння системи рівнянь (18) визначаємо координату Z точки В:

$$Z_{Bi} = \frac{\omega \cdot X_{Bi} - \omega_\phi \cdot X_{Bi} \cdot \sin \beta}{\omega_\phi \cdot \cos \beta}$$

або

$$Z_{Bi} = \frac{X_{Bi} - \frac{\omega_{\phi}}{\omega} \cdot X_{Bi} \cdot \sin \beta}{\frac{\omega_{\phi}}{\omega} \cdot \cos \beta} \quad (20)$$

Таким чином, визначаються координати першої точки характеристики для кожного зуба у групі, що відповідають точці B_i , розташованої на межі ділянок поверхні зуба.

Координати другої точки характеристики, розташованої на твірній відповідної точки A не змінюються для кожного профілю зуба у групі, та розраховуються за залежностями 16 і 17:

Координати Z точки A визначаються за рівнянням контакту при нахиленій осі інструменту (9).

Координати X , Y точки характеристики, розташованої на твірній, що відповідає точці C_i змінюються для кожного профілю зуба у групі та будуть розраховуватися за залежностями:

$$X_{Ci} = 0,5 \cdot D \cdot \sin(\psi + \gamma - \varepsilon_i), \quad (21)$$

$$Y_{Ci} = 0,5 \cdot D \cdot \cos(\psi + \gamma - \varepsilon_i). \quad (22)$$

Координата Z точки C_i характеристики на потиличній площині зуба визначається за рівнянням контакту:

$$Z_{Ci} = \frac{\omega}{\omega_{\phi}} \cdot \frac{(X_{Ci} + Y_{Ci} \cdot \operatorname{ctg}(\theta - \psi))}{\cos \beta} - \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{ctg}(\theta - \psi) \cdot (Y_{Ci} - a) - X_{Ci} \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (23)$$

Знаючи координати точок прямолінійних характеристик в системі XYZ за формулами перетворення координат (4 - 6) розраховуються координати точок характеристик в системі $X_{\phi}Y_{\phi}Z_{\phi}$.

Три точки $A(X_{\phi}Y_{\phi}Z_{\phi})$, $B_i(X_{\phi}Y_{\phi}Z_{\phi})$, $C_i(X_{\phi}Y_{\phi}Z_{\phi})$, належать прямолінійній характеристиці, та координати яких для кожного зуба мають своє значення, Вони визначають положення передньої площини проектованої дискової обкатної фрези в системі координат $X_{\phi}Y_{\phi}Z_{\phi}$.

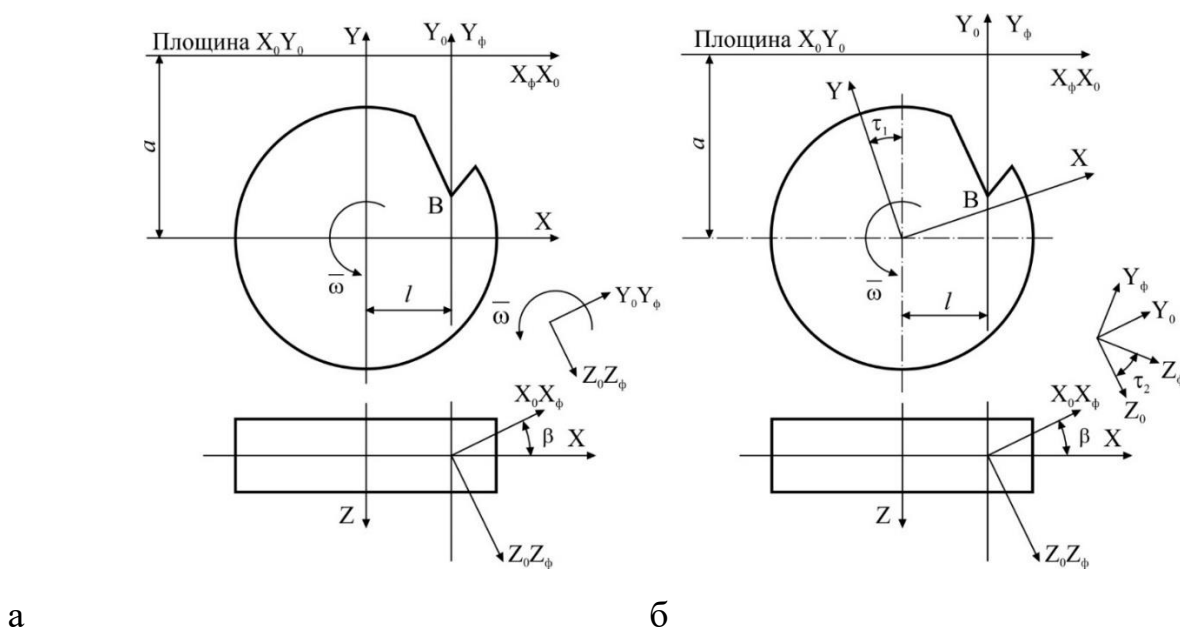
Для перевірки розрахункових формул при обробці прямозубих стружкових канавок без перехідних кривих при похилій установці осі дискової обкатної

фрези відносно осі пили [541, 544, 545], розглядається схема обробки заданою обкатною фрезою, при якій заготовка пили обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю $\bar{\omega}$, обкатна фреза обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю ω_f .

Осі інструменту і заготовки є мимобіжними прямими, вісь обкатної фрези встановлена нахилено до осі відрізної пили під кутом β . В процесі обробки здійснюється тільки радіальна подача, в результаті чого фреза заглиблюється в матеріал заготовки безпосередньо в процесі формування оброблюваної поверхні, коли фреза заглибилася на необхідну величину в заготовку, радіальна подача відключається. Формування оброблюваної поверхні відбувається таким чином при двох взаємопов'язаних обертаннях навколо осей пили та інструменту.

З пилою пов'язуємо систему координат XYZ , з дисковою обкатною фрезою - систему $X_f Y_f Z_f$. Вводимо також нерухому систему координат $X_0 Y_0 Z_0$. Взаємне розташування систем координат в початковий момент часу зображено на рис. 9 - а.

За вісь деталі прийнята вісь Z , за вісь інструменту прийнята вісь X_f . Положення осей XYZ щодо осей $X_f Y_f Z_f$ характеризується параметрами a і l і кутом β .



a – початковий момент часу; b – довільний момент часу

Рисунок 9. Схема взаємного розташування систем координат [541]

Вважаємо, що за довільний момент часу система XYZ повернулася на кут τ_1 , а система $X_\phi Y_\phi Z_\phi$ - на кут τ_2 . Куты τ_1 і τ_2 пов'язані співвідношенням:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{Z_0}{Z}$$

Положення систем координат в довільний момент часу зображено на рис.

9 - б. У цьому випадку формули перетворення координат будуть:

$$X = \cos \tau_1 \cdot [l + X_\phi \cdot \cos \beta + (Z_\phi \cdot \cos \tau_2 - Y_\phi \cdot \sin \tau_2) \cdot \sin \beta] + [a + Y_\phi \cdot \cos \tau_2 + Z_\phi \cdot \sin \tau_2] \cdot \sin \tau_1 \quad (24)$$

$$Y = [a + Y_\phi \cdot \cos \tau_2 + Z_\phi \cdot \sin \tau_2] \cdot \sin \tau_1 - \sin \tau_1 \cdot [l + X_\phi \cdot \cos \beta + (Z_\phi \cdot \cos \tau_2 - Y_\phi \cdot \sin \tau_2) \cdot \sin \beta] \quad (25)$$

$$Z = \cos \beta \cdot [Z_\phi \cdot \cos \tau_2 - Y_\phi \cdot \sin \tau_2] - X_\phi \cdot \sin \beta \quad (26)$$

Поверхня западини зуба пили буде описуватися різальною кромкою зуба обкатної фрези при її русі відносно заготовки пили. Визначаємо профіль цієї поверхні в площині $Z=0$. Будемо вважати, що обробка ведеться фрезою з кутами $\gamma_i=0$ і $\lambda_i=0$, тобто передньою площиною фрези буде площина, яка проходить через її вісь. За цю площину приймаємо площину $Y_\phi=0$.

Профіль западини зуба пили визначаємо в площині $Z=0$. За формулами перетворення координат, при $Z=0$ и $Y_\phi=0$ маємо:

$$Z_\phi \cdot \cos \tau_2 = X_\phi \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (27)$$

$$X = \cos \tau_1 \cdot [l + X_\phi \cdot \cos \beta + Z_\phi \cdot \cos \tau_2 \cdot \sin \beta] + [a + Z_\phi \cdot \sin \tau_2] \cdot \sin \tau_1, \quad (28)$$

$$Y = [a + Z_\phi \cdot \sin \tau_2] \cdot \cos \tau_1 - \sin \tau_1 \cdot [l + X_\phi \cdot \cos \beta + Z_\phi \cdot \cos \tau_2 \cdot \sin \beta]. \quad (29)$$

Обробка відрізних пил з нерівномірним кроком обкатними фрезами можлива як при установці осі дискової обкатної фрези перпендикулярно до осі відрізної пили, так при нахилений установці. Але, як показав аналіз умов формоутворення профілів відрізних пил, при установці осі обкатної фрези перпендикулярно в западини зуба відрізної пили виникають перехідні поверхні.

При обробці западини зуба відрізної пили при установці осі дискової обкатної фрези перпендикулярно до осі пили, радіуси кривизни виникаючих перехідних поверхонь можуть бути більші, ніж нормовані радіуси заокруглень

западни зубів відрізної пили, або лежати в межах їх допустимих значень. Для визначення можливості обробки западин зубів відрізних пил обкатними фрезами з допустимим значеннями радіусів заокруглення перехідних кривих, в цьому випадку, необхідно визначити їх розміри.

Аналітично визначаються залежності, які характеризують розміри перехідних кривих. При обробці відрізної пили кути повороту обкатної фрези та заготовки, як відомо, пов'язані залежністю:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{Z_0}{Z}$$

При відомому радіусі обкатної фрези кут повороту її зуба, при обробці канавки зуба відрізної пили, яка має ширину b (рис. 10), дорівнює:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\tau_2}{2}\right) = \frac{b}{2 \cdot R_{0\min}} \quad (30)$$

Величина h_n , яка буде характеризувати висоту перехідної кривої дорівнює

$$h_n = \operatorname{tg}\left(\frac{\tau_2}{2}\right) \cdot \frac{b}{2} \quad (31)$$

Профіль канавки зуба пили в вихідному перерізі позначено як ABC . Положення цього перерізу в системі координат XYZ , пов'язаною з відрізною пилою, характеризує параметри установки обкатної фрези відносно заготовки пили на верстаті. Положення цього перерізу відповідає положенню зуба обкатної фрези, коли його вершина знаходиться в осьовій площині. Таким чином, на початку обробки вершинна точка зуба обкатної фрези знаходиться в точці B' , а в кінці обробки – в точці k .

Визначаємо величину l_n , яка характеризує ширину перехідної кривої. В системі координат XYZ можна записати:

$$l_n = X_k - X_{B'} \quad (32)$$

Визначаємо координати точок $X_k Y_k$ та $X_{B'} Y_{B'}$. Як відомо, координати точки B при перпендикулярної установці осі обкатної фрези до осі заготовки пили дорівнюють (16, 17):

$$X_B = 0,5 \cdot D \cdot \sin(\psi + \gamma) - H \cdot \sin \psi$$

$$Y_B = 0,5 \cdot D \cdot \cos(\psi + \gamma) - H \cdot \cos \psi$$

Координати точки B' записуємо, як:

$$X_{B'} = X_B - c$$

$$Y_{B'} = Y_B + h_n \quad (33)$$

де величина $c = \operatorname{tg} \psi \cdot h_n$

Координати точки k , визначаємо, як координати точки перетину прямої

$Y_B = Y_{B'}$ та прямої $A_t B_t$.

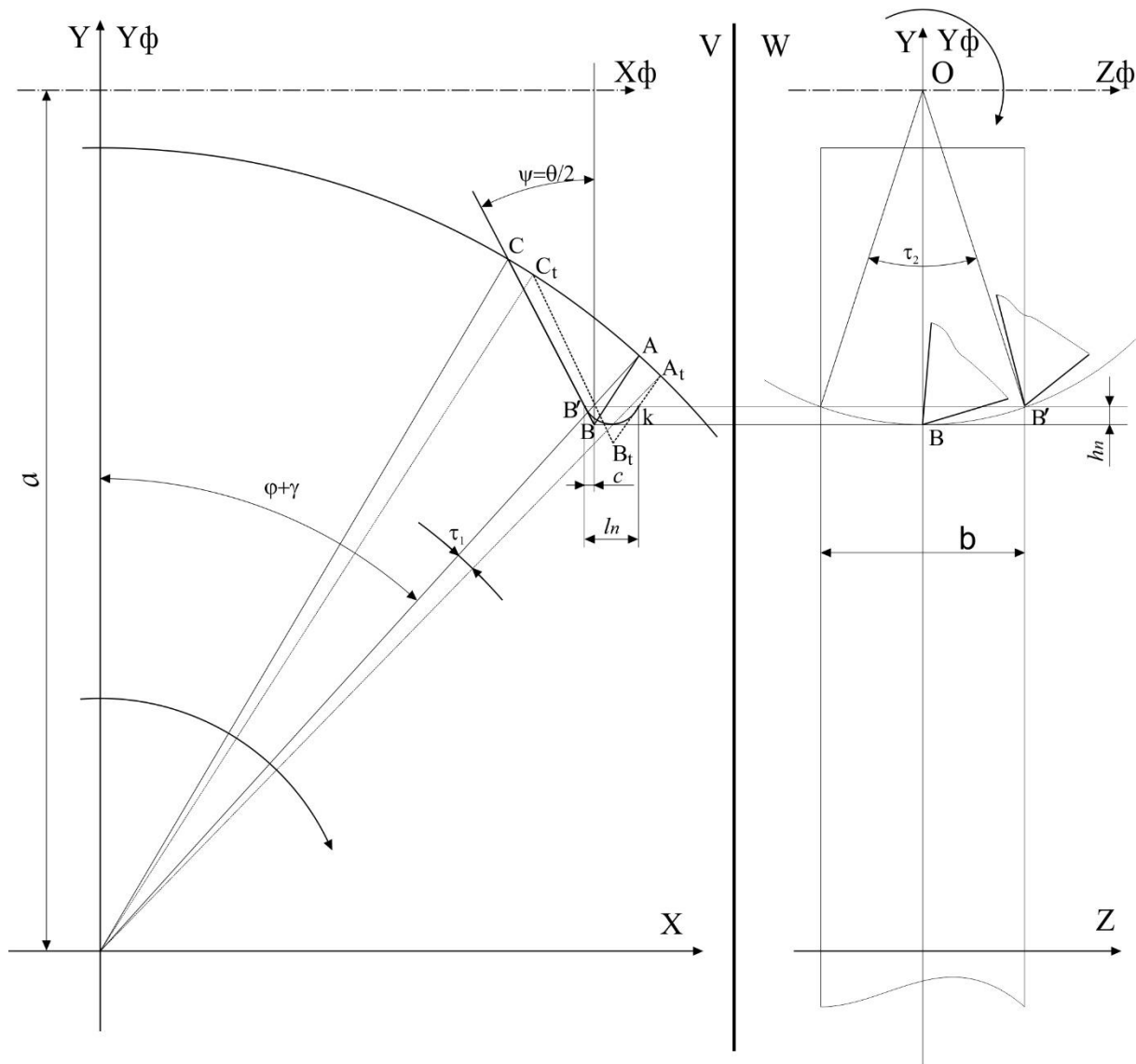


Рисунок 10. Схема визначення розмірів перехідних кривих при перпендикулярній установці осі обкатної фрези до осі заготовки пили

Координати точок A_t та B_t записуємо наступним чином:

$$X_{A_t} = 0,5 \cdot D \cdot \sin(\psi + \gamma + \tau_1)$$

$$Y_{A_t} = 0,5 \cdot D \cdot \cos(\psi + \gamma + \tau_1)$$

$$X_{B_t} = X_{A_t} - H \cdot \sin(\psi + \tau_1)$$

$$Y_{B_t} = Y_{A_t} - H \cdot \cos(\psi + \tau_1)$$

Для знаходження точки перетину двох прямих записуємо рівняння:

$$\frac{X_k - X_{A_t}}{X_{B_t} - X_{A_t}} = \frac{Y_k - Y_{A_t}}{Y_{B_t} - Y_{A_t}}$$

Вирішуючи рівняння відносно координати X_k , отримаємо:

$$X_k = \frac{X_{A_t} \cdot Y_{B_t} + Y_k \cdot (X_{B_t} - X_{A_t}) - Y_{A_t} \cdot X_{B_t}}{Y_{B_t} - Y_{A_t}} \quad (34)$$

За формулами (31) та (32) визначається висота та довжина сегмента дуги, яка описує вершина зуба обкатної фрези. Знаючи розміри сегмента дуги визначається радіус перехідної кривої за відомою залежністю:

$$r_n = \frac{h_n}{2} + \frac{l_n^2}{8 \cdot h_n} \quad (35)$$

Визначення розмірів перехідних поверхонь при установці осі обкатної фрези перпендикулярно до осі відрізної пили дає можливість з'ясувати за яких параметрах оброблюваної заготовки відрізної пили відхилення обробленої поверхні від її заданих (нормованих – радіус западини зуба пили) розмірів лежать в допустимих межах і обробка при такій установці можлива у відповідності з креслеником.

За розробленою теорією формоутворення проводиться проектування обкатної фрези з нерівномірним кроком.

Конструкція дискової обкатної фрези характеризується двома групами параметрів: які розраховуються за залежностями, визначеними на основі положень теорії формоутворення відрізних пил з нерівномірним кроком обкатними фрезами та параметрами, які рекомендуються нормативними документами та літературними джерелами [ГОСТ 10996-64, ГОСТ 28527-90 (ИСО 2587-72), ГОСТ 9472-90, ГОСТ 9324-2015 (ISO 2490:2007, ISO 4468:2009)].

До першої групи конструктивних параметрів відносяться:

- розрахунковий мінімальний діаметр та зовнішній діаметр обкатної фрези з врахуванням переточок;
- параметри нерівномірності кроків відрізних пил (кутовий крок зубів, кількість зубів в групі);
- координати граничних точок прямолінійних різальних кромок;
- радіус кожного зуба;
- зміщення вершин зубів відносно центру осьової площини.

До другої групи параметрів відносяться:

- діаметр отвору під оправку;
- ширина фрези;
- висота та довжина зуба;
- діаметр та ширина ступиці;
- висота та ширина шпонкового пазу.

При розробці конструкції дискової обкатної фрези першочерговою задачею є визначення її зовнішнього діаметра, який би в найбільшій мірі задовольняв вимогу, щодо експлуатації цього інструменту.

При визначенні розмірів зовнішнього діаметра необхідно враховувати, що зі збільшенням зовнішнього діаметра можна застосовувати оправки більшого діаметра. Це дозволяє працювати зі збільшеними навантаженнями, так як оправка буде більш жорсткою і міцною. Крім того, фрези більшого діаметру мають кращі умови для відводу тепла. При обробці такими фрезами зростає дуга контакту зубів з заготовкою. Все це сприяє підвищенню якості обробленої поверхні і стійкості інструменту. Проте зі збільшенням діаметра фрези підвищується витрата матеріалу та вартість інструменту.

Зовнішній діаметр обкатної фрези з врахуванням переточувань залежить від її мінімального розрахункового діаметра – D_{0min} . З точки зору виконання другої умови формоутворення стружкових канавок відрізних пил D_{0min} визначаються параметрами нерівномірності зубів пили в групі, до яких належать кількість зубів в групі та їх кутові кроки.

Параметри нерівномірності відрізних пил залежать від загальної кількості зубів пили та від значення їх окружного кроку. Кількість зубів пили повинна бути кратна кількості груп. Крок зуба відрізної пили впливає на здатність видаляти стружку із зони розпилу. Так, згідно загальним рекомендаціям: чим більший перетин матеріалу, тим більшою повинна бути відстань між зубцями і навпаки [538, 546, 547, 548, 549].

Розміри стружкової канавки у зубів прямолінійного профілю обумовлюються висотою зуба. Замала кількість зубів у зоні різання може призвести до незбалансованого навантаження на різальну кромку та руйнування зубів. При великій кількості зубів зменшуються розміри западини зуба, що призводить до погіршення відводу стружки та нагріву зубів.

Як правило, користуються наступним правилом вибору кроку зубів відрізної пили: для суцільних матеріалів - в зоні різання повинно бути не менше трьох зубів одночасно, для профільних матеріалів - товщина стінки повинна бути не меншою за відстань між двома сусідніми зубами.

Форму зубів прямолінійного профіля, формоутворення якої досліджується в роботі, згідно рекомендаціям, використовують при відрізці тонкостінних труб та профілів, та використовують при цьому відрізні пили великих діаметрів $D \geq 200 \text{ мм}$ з кроком зубів $T = 0,8 \div 3 \text{ мм}$ [538, 547, 548, 550].

Багаторічний виробничий досвід дозволяє вважати, що максимальне рекомендоване значення кількості зубів при обраному діаметрі відрізної пили для певних умов відрізки визначає мінімальне значення окружного кроку при яких забезпечується робота пили без поломки зубів.

Це положення вважатимемо обмеженням при виборі кількості зубів в групі з нерівномірним кроком і допустимого значення мінімального кроку в групі.

Кількість нерівномірних зубів у групі та закону їх розподілення слід вибирати з позицій оцінки мінімального значення критерію динамічного стану різних конструкцій пил C_{rmax} [550].

Взагалі, нерівномірність кроку у групі задається за законом трикутника, або розподіленням їх по відношенню до номінального кроку [550, 551]. За

законом трикутника величина Δ нерівномірності кроку зубів приймається у відсотках від номінального кроку.

Так, за рекомендаціями [550, 551], при відрізці труб пилами з $Z_{gr}=6$ слід приймати нерівномірність кроку при розбивці нерівномірності кроків по закону трикутника $\Delta=(15 \dots 20)\%$, а також розподілення їх по відношенню до номінального кроку – $K=0,7-0,9-1,3-1,1-0,8-1,2$, з $Z_{gr}=8$ – по закону трикутника $\Delta=10\%$. Менші значення нерівномірності, особливо при великій кількості зубів відрізної пили наближують кутові кроки у групі до рівномірних значень. З ростом кількості зубів в групі з нерівномірним кроком і значення нерівномірності кроків в групі Δ з розбивкою по трикутнику збільшується ймовірність поломки одного з зубів в групі через зменшення окружного кроку, а отже, і розмірів канавки [550].

Враховуючи прийняте нами обмеження по допустимому мінімального кроку аналізуючи дані табл. 2, наприклад, при обраному за рекомендаціями потрібному мінімальному кутовому кроку $T=3$ мм, обирати відрізну пилу з нерівномірним кроком $\varnothing 315$ мм с $Z_{gr}=4$ та $Z=204$, у якої мінімальний крок $T_{min}=3,40$ мм з $\Delta = 30\%$, або обрати пилу цього ж діаметру с $Z_{gr}=6$ та $\Delta = 20\%$. Також можливо обрати пилу з $\varnothing 200$ мм с $Z_{gr}=4$, $Z=132$ та $\Delta = 30\%$, у якої мінімальний крок $T_{min}=3,33$ мм, з умови допуску на крок $T \pm 0,3$ мм.

Таблиця 2. Значення мінімальних окружних кроків $T_{min} \pm 0,3$ мм [538]

Діа-метр	Число зубів у групі	Не-рівність	Загальна кількість зубів відрізної пили, Z													
			48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204
200 мм	4	0%	13,08	10,47	8,72	7,48	6,54	5,82	5,24	4,76	4,36	4,03	3,74	3,49	3,27	3,08
		10%	11,77	9,42	7,85	6,73	5,89	5,24	4,71	4,28	3,93	3,63	3,37	3,14	2,95	2,77
		20%	10,47	8,38	6,98	5,98	5,24	4,65	4,19	3,81	3,49	3,22	2,99	2,79	2,62	2,46
		30%	9,16	7,33	6,11	5,24	4,58	4,07	3,67	3,33	3,05	2,82	2,62	2,44	2,29	2,16
	6	0%	13,08	10,47	8,72	7,48	6,54	5,82	5,24	4,76	4,36	4,03	3,74	3,49	3,27	3,08
		10%	11,12	8,90	7,42	6,36	5,56	4,95	4,45	4,05	3,71	3,42	3,18	2,97	2,78	2,62
		20%	9,16	7,33	6,11	5,24	4,58	4,07	3,67	3,33	3,05	2,82	2,62	2,44	2,29	2,16
		30%	7,20	5,76	4,80	4,11	3,60	3,20	2,88	2,62	2,40	2,22	2,06	1,92	1,80	1,69
250 мм	4	0%	16,35	13,08	10,91	9,35	8,18	7,27	6,54	5,95	5,45	5,03	4,68	4,36	4,09	3,85
		10%	14,72	11,78	9,82	8,41	7,36	6,54	5,89	5,36	4,91	4,53	4,21	3,93	3,68	3,47
		20%	13,08	10,47	8,73	7,48	6,54	5,82	5,24	4,76	4,36	4,03	3,74	3,49	3,27	3,08

Діа-метр	Число зубів у групі	Не-рівність	Загальна кількість зубів відрізної пили, Z													
			48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204
	6	30%	11,45	9,16	7,64	6,54	5,73	5,09	4,58	4,17	3,82	3,52	3,27	3,05	2,86	2,70
		0%	16,35	13,08	10,91	9,35	8,18	7,27	6,54	5,95	5,45	5,03	4,68	4,36	4,09	3,85
		10%	13,90	11,12	9,27	7,95	6,95	6,18	5,56	5,06	4,64	4,28	3,97	3,71	3,48	3,27
		20%	11,45	9,16	7,64	6,54	5,73	5,09	4,58	4,17	3,82	3,52	3,27	3,05	2,86	2,70
		30%	9,00	7,20	6,00	5,14	4,50	4,00	3,60	3,27	3,00	2,77	2,57	2,40	2,25	2,12
315 мм	4	0%	20,60	16,49	13,74	11,78	10,31	9,16	8,25	7,50	6,87	6,34	5,89	5,50	5,15	4,85
		10%	18,54	14,84	12,37	10,60	9,28	8,25	7,42	6,75	6,19	5,71	5,30	4,95	4,64	4,37
		20%	16,49	13,19	10,99	9,42	8,25	7,33	6,60	6,00	5,50	5,08	4,71	4,40	4,12	3,88
		30%	14,43	11,54	9,62	8,25	7,22	6,41	5,77	5,25	4,81	4,44	4,12	3,85	3,61	3,40
	6	0%	20,60	16,49	13,74	11,78	10,31	9,16	8,25	7,50	6,87	6,34	5,89	5,50	5,15	4,85
		10%	17,52	14,02	11,68	10,01	8,76	7,79	7,01	6,37	5,84	5,39	5,01	4,67	4,38	4,12
		20%	14,43	11,54	9,62	8,25	7,22	6,41	5,77	5,25	4,81	4,44	4,12	3,85	3,61	3,40
		30%	11,34	9,07	7,56	6,48	5,67	5,04	4,54	4,12	3,78	3,49	3,24	3,02	2,84	2,67

Щоб забезпечити максимально допустиму кількість переточувань без поломки зубів слід обирати більші значення діаметрів відрізних пил або зменшувати загальну кількість зубів при фіксованому значенні інших параметрів.

Таким чином, згідно табл. 2, визначаємо по рекомендованому мінімально допустимому кроку потрібні параметри нерівномірності Δ та кількість зубів у групі Z_{gr} , а також діаметр D , і загальну кількість зубів Z відрізної пили.

На рис. 11 показано сегмент відрізної пили с групою зубів $Z_{gr}=4$, та параметри, які характеризують нерівномірність зубів.

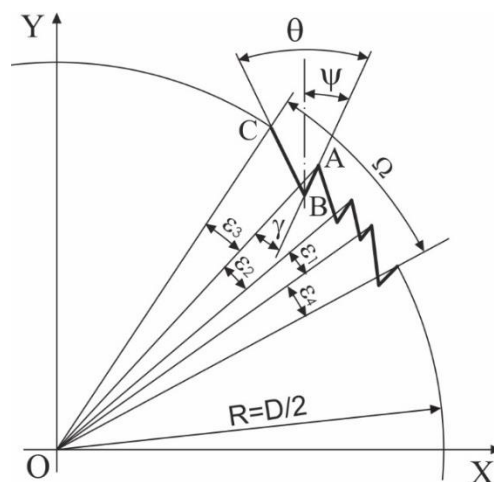


Рисунок 11. Параметри нерівномірності профілів зубів відрізної пили с $Z_{gr}=4$, що характеризують нерівномірність профіля зуба обкатної фрези

Найбільша западина в групі ABC , кутовий крок якої ε_3 , розміщена в вихідному положенні.

Число груп зубів (n) та нормальний кутовий крок пили (ε_z) визначаються як:

$$n = \frac{Z}{Z_{gr}}; \varepsilon_z = \frac{360}{Z} \quad (36)$$

Нерівномірність сусідніх зубів у групі відрізних пил (ε_{gr}), та кут, що охоплюється однією групою (Ω) визначаються за залежностями:

$$\varepsilon_{gr} = \frac{\Delta \cdot \varepsilon_z}{100}, \Omega = \frac{2 \cdot \pi}{n} \quad (37)$$

Значення мінімального кроку зубів в групі буде:

$$\varepsilon_0 = \frac{\Omega - n \cdot \varepsilon_{gr}}{Z_{gr}} \quad (38)$$

Визначення кроку зубів ε_i з різною кількістю їх в групі ($Z_{gr}=2,4,6,8$) наведені в таблиці 3 [550, 555].

Таблиця 3. Кутові кроки зубів в групі

Число зубів в групі	ε_1	ε_2	ε_3	ε_4	ε_5	ε_6	ε_7	ε_8	$\Sigma \varepsilon_{gr}$
$Z_{gr}=2$	ε_0	$\varepsilon_0 + \varepsilon_{gr}$	-	-	-	-	-	-	ε_{gr}
$Z_{gr}=4$	ε_0	$\varepsilon_0 + \varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + 2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + \varepsilon_{gr}$	-	-	-	-	$4\varepsilon_{gr}$
$Z_{gr}=6$	ε_0	$\varepsilon_0 + \varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + 2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + 3\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + 2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + \varepsilon_{gr}$	-	-	$9\varepsilon_{gr}$
$Z_{gr}=8$	ε_0	$\varepsilon_0 + \varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + 2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + 3\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + 4\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + 3\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + 2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0 + \varepsilon_{gr}$	$16\varepsilon_{gr}$

Вихідні параметри, за якими проводиться розрахунок зовнішнього діаметра дискової обкатної фрези та її проектування наведені в табл. 4.

В основі визначення зовнішнього діаметра дискових обкатних фрез для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком лежить її розрахунковий діаметр, тобто радіус. Цей радіус розраховується за формулою (14), яка в розгорнутому виді запишеться:

$$R_{0\min} = \frac{0.5 \cdot D \cdot \sin\left(\frac{\varepsilon_{\max}}{2}\right) + H_{\max} \cdot \sin \gamma}{\sin(\psi + \gamma) \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\varepsilon_{\max} \cdot Z}{2 \cdot Z_{gr}}\right)\right]} \quad (39)$$

Таблиця 4 – Вихідні параметри за якими проектується дискові обкатні фрези

Назва параметру	Позначення
Параметри заготовки відрізної пили, що задаються	
Діаметр	D
Число зубів	Z
Число зубів у групі	Z_{gr}
Товщина	B
Нерівномірність зубів у групі	Δ
Кут профілю канавки зуба (рис. 11)	θ
Передній кут	γ
Параметри заготовки відрізної пили, що розраховуються	
Передаточне відношення та число груп зубів (36)	$U = n = \frac{Z}{Z_{gr}}$
Нерівномірність сусідніх зубів у групі (37)	ε_{gr}
Мінімальний кутовий крок зубів у групі (38)	ε_0
Кутовий крок сусідніх зубів у групі (табл.3)	ε_i
Висота зуба по передній поверхні	$H_{\max} = \frac{D}{2} - Y_G$ $H_i = H_{\max} - \frac{R \cdot \cos(\gamma - \varepsilon_{\max}) \cdot (\varepsilon_{\max} - \varepsilon_i)}{\sin \theta}$
Установча відстань між осями відрізної фрези і дискової обкатної фрези	$a = 0.5 \cdot D \cdot \sin(90^\circ - (\psi + \gamma) + 0.5 \cdot \varepsilon_{\max}) - h_{\max} + R_\phi$
Зміщення осі обкатної фрези відносно осі заготовки відрізної пили	$l = 0.5 \cdot D \cdot \sin(\psi + \gamma) - H_{\max} \cdot \sin \psi$
Кут, який характеризує положення передньої площини профілю виробу після повороту	$\psi = 0,5 \theta$
Кут нахилу осі дискової обкатної фрези що до осі відрізної пили	$\sin \beta = \frac{\omega \cdot Y_{Bi}}{\omega_\phi \cdot (Y_{Bi} - a)}$

В загальному випадку розрахунковий допустимий радіус залежить від діаметра пили (D), максимальної глибини стружкової канавки, вимірної по передній поверхні (H_{\max}), яка визначається максимальним кутовим кроком (ε_{\max}),

передавальним відношенням Z/Z_0 , та кутом ψ , який приймається рівним половині кута профіля (θ) відрізної пили.

При розробці теоретичних положень проектування дискових обкатних фрез для обробки зубів пил з нерівномірним кроком та доцільності їх використання розглянуто вплив конструктивних параметрів пили на розрахунковий мінімальний діаметр обкатних фрез.

Дослідження впливу конструктивних параметрів пили (діаметр – D , загальна кількість зубів пили – Z , кількість зубів у групі – Z_{gr} , передній кут – γ) на мінімальний розрахунковий діаметр обкатної фрези здійснювалось за залежністю (39).

Аналіз характеру зміни допустимого розрахункового мінімального діаметра обкатної фрези при $Z_{gr}=4$ і $Z_{gr}=6$ показує, що зі збільшенням діаметра відрізної пили та збільшенням кількості зубів з нерівномірним кроком в групі мінімальний діаметр обкатної фрези збільшується, а зі збільшенням загальної кількості зубів пили – зменшується (рис. 12).

Так, для оброблюваної відрізної пили $\varnothing 200$ мм, з $Z=72$ та кількістю зубів з нерівномірним кроком в групі $Z_{gr}=4$ розрахунковий мінімальний діаметр обкатної фрези змінюється від 60 мм до 70 мм в залежності від значення переднього кута пили γ , для пили $\varnothing 315$ мм – 92 ÷ 110 мм.

При тих же значеннях конструктивних параметрів оброблюваної пили з нерівномірним кроком в групі $Z_{gr}=6$, мінімальний діаметр фрези для пил $\varnothing 200$ мм лежить в межах 170 ÷ 195 мм в залежності від значення переднього кута, відповідно для пил $\varnothing 315$ мм – 270 ÷ 300 мм.

Слід відзначити, що менші діаметри фрез відповідають переднім кутам $\gamma=10^\circ$, більші – $\gamma=5^\circ$.

Проведені дослідження показують, що вплив переднього кута пили зменшується зі збільшенням кількості зубів відрізної пили.

Наведений аналіз та аналіз графічних залежностей показує, що утворення зубів пил обкатними фрезами в порівнянні з іншими способами найбільш

доцільне при великій кількості зубів пили. Крім того, з точки зору економії швидкорізальної сталі цільних обкатних фрез, слід рекомендувати обробляти такими фрезами відрізні пили з кількістю нерівномірних зубів в групі $Z_{gr}=4$.

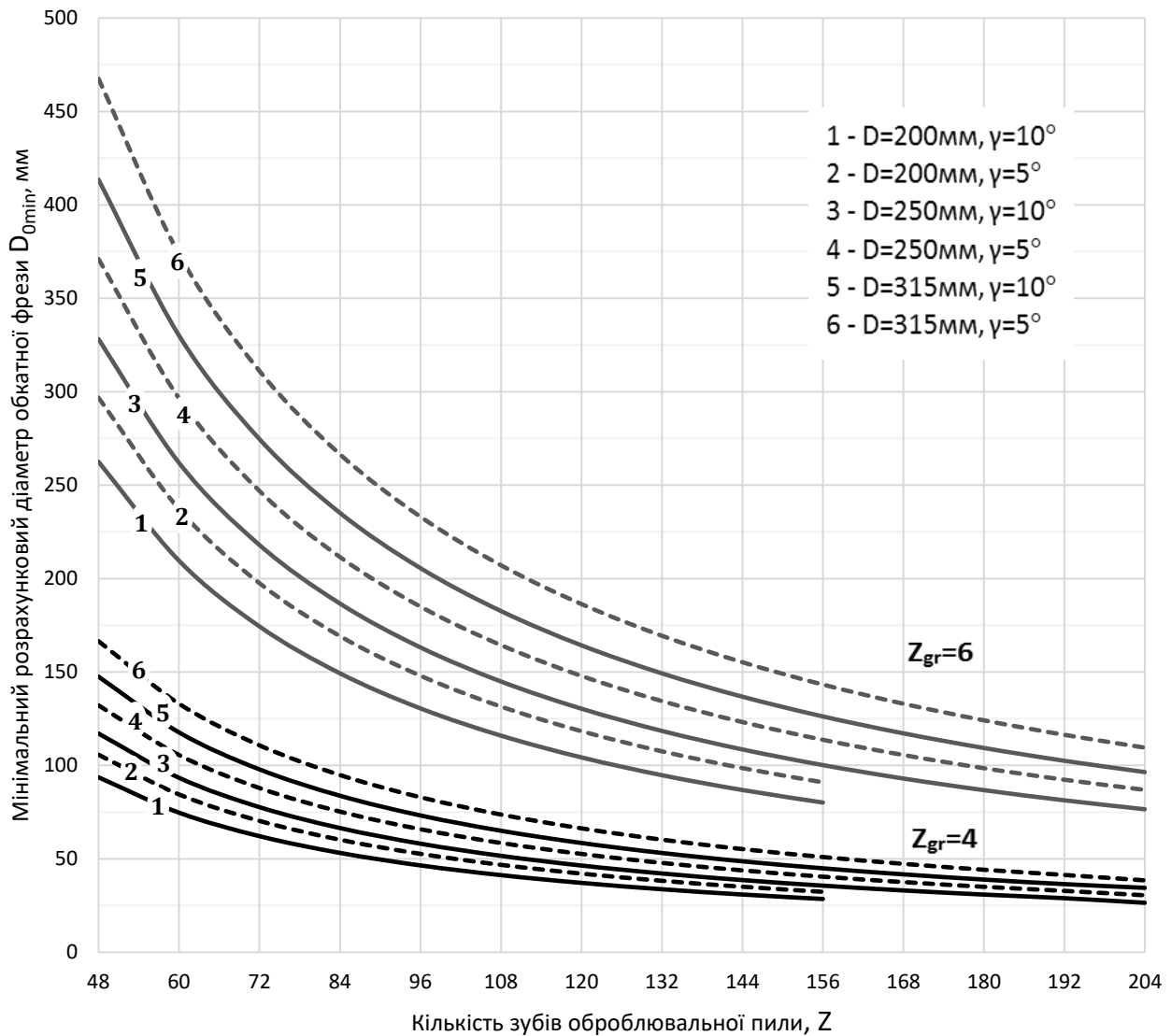


Рисунок 12. Характер зміни розрахункового мінімального діаметра обкатної фрези

Визначивши залежність розрахункових мінімальних діаметрів обкатних фрез від параметрів оброблюваних ними пил при проектуванні фрез необхідно збільшувати їх розрахункові діаметри враховуючи можливість переточок.

Заточування гострозаточених фрез з прямолінійними різальними кромками, що розглядаються, здійснюється по задніх поверхнях [552], по яких, головним чином, відбувається їх знос (рис. 13).

Гострозаточені фрези мають підвищену стійкість і продуктивність та забезпечують зменшення параметрів шорсткості оброблюваної поверхні в порівнянні з затилованими [532, 534].

Форма зубів фрез повинна бути такою, щоб забезпечувалась необхідна міцність зуба, допускалося якомога більша кількість переточувань та об'єм канавок між зубами повинен бути достатнім для розміщення стружки.

Згідно [553] отримана розрахункова формула сточування за одну переточку:

$$h_{cm} = \frac{f_3 \cdot \sin \alpha_\epsilon + k}{\cos(\alpha_\epsilon + \gamma_\epsilon)} \cdot \cos \gamma_\epsilon \quad (40)$$

де f_3 - фаска зносу по задній поверхні;

k - додатковий припуск на заточку.

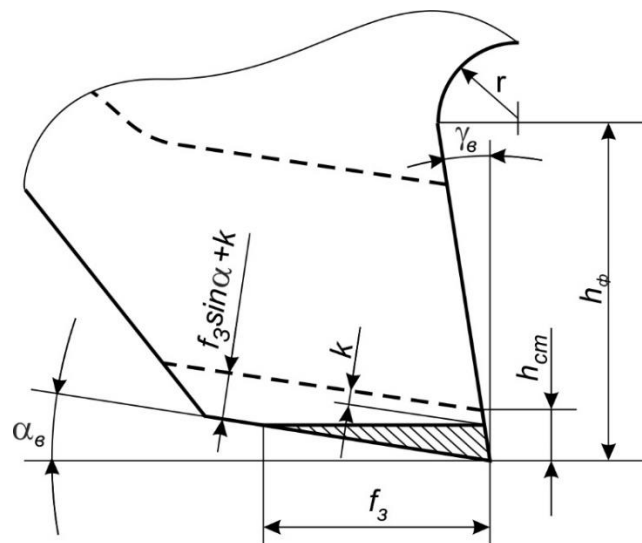


Рисунок 13. Схема зносу гострозаточених фрез

Щоб визначити кількість допустимих переточувань, необхідно знати висоту зуба таких фрез.

Для дискових обкатних фрез з великим зубом висота зуба визначається залежністю:

$$h_{\phi} = (0.3 \dots 0.45) \cdot \frac{\pi \cdot D_{\phi}}{Z_0} \quad (41)$$

де D_{ϕ} - зовнішній діаметр дискової обкатної фрези;

Z_0 – кількість зубів дискової обкатної фрези.

Радіус заокруглення западини канавки зуба [553]

$$r_{\phi} = (0.4 \dots 0.75) \cdot h_{\phi} \quad (42)$$

За рекомендаціями [553] з умови розміщення стружки зуб фрези сточують по висоті на величину не більш ніж $0.75h_{\phi}$. Тобто зуб обкатної фрези можна сточувати до мінімальної висоти $h_{\phi \min}$:

$$h_{\phi \min} = 0.75 \cdot h_{\phi} \quad (43)$$

За одне переточування, згідно рекомендацій [553] для фрез з швидкорізальних сталей знімається $h_{zm} = 0.3 - 0.5$ мм.

Визначимо мінімальну кількість переточувань зуба обкатної фрези. Прийmemo, згідно (41), що мінімально допустима висота зуба обкатної фрези буде:

$$h_{\phi} = 0.3 \cdot \frac{\pi \cdot D_{0 \min}}{Z_0}$$

Тоді можна записати залежність для визначення мінімальної кількості переточок зуба фрези:

$$K_{\min} = \frac{0.5 \cdot D_{0 \min}}{Z_0} \quad (44)$$

З умови максимально допустимої висоти сточування зуба фрези (43) та формули для розрахунку висоти зуба (41), мінімальний розрахунковий діаметр слід збільшити на величину допустимого сточування зуба.

Таким чином формулу для розрахунку зовнішнього діаметра обкатної фрези з урахуванням переточувань запишемо як:

$$D_{\phi \min} = \frac{D_{0 \min} \cdot (Z_0 + 0.471)}{Z_0} \quad (45)$$

Визначення зовнішнього діаметра обкатної фрези з урахуванням переточувань, та формули для розрахунку наведені у табл. 5.

При перевірці третьої умови теорії формоутворення було доведено, що при утворенні обкатною фрезою западин зубів пили, при установці її осі перпендикулярно до осі заготовки відрізної пили, в западині зуба виникають перехідні криві. Розмір цих кривих впливає на умови розміщення стружки і має важливе значення. Нормативними документами та фірмами-виробниками визначаються розміри радіуса западин зубів відрізних пил.

Таблиця 5. Зовнішній діаметр обкатної фрези з урахуванням переточувань

№	Параметр	Позначення	Формула
1	Мінімальний розрахунковий зовнішній діаметр, мм	D_{0min}	$D_{0min} = \frac{D \cdot \sin\left(\frac{\varepsilon_{max}}{2}\right) + H_{max} \cdot \sin \gamma}{\sin(\psi + \gamma) \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\varepsilon_{max} \cdot Z}{2 \cdot Z_{gr}}\right)\right)}$
2	Допустима висота зуба, мм	$h_{\phi min}$	$h_{\phi} = 0.3 \cdot \frac{\pi \cdot D_{0min}}{Z_0}$
3	Мінімальна кількість допустимих переточок	K_{min}	$K_{min} = 0.5 \cdot \frac{D_{0min}}{Z_0}$
4	Зовнішній діаметр з урахуванням переточок, мм	$D_{\phi min}$	$D_{\phi min} = \frac{D_{0min} \cdot (Z_0 + 0.471)}{Z_0}$

Наприклад, величина радіуса заокруглення западини зуба за нормами ГОСТ 2679-93 (ISO 2296-72) повинна бути, при діаметрі відрізної пили $D \geq 200$ мм, не більш ніж 0,4 мм, а для $D = 315$ мм – не більш ніж 0,5 мм. Згідно європейським стандарти DIN1837, DIN1838, DIN1840 радіуси заокруглення западини зуба залежать від кроку t , та мають дещо більші розміри.

В залежності від загальної кількості зубів та кількості зубів у групі відрізної пили радіуси кривизни перехідних кривих, які утворюються при обробці западини зуба, приймають певні значення, величини яких можуть бути більші або менші ніж радіуси заокруглення западини зуба, що нормуються. Якщо ці радіуси кривизни менші або лежать в межах допуску радіуса заокруглення

западини зуба, прийнятною є установка осі дискової обкатної фрези перпендикулярно до осі відрізної пили.

Для визначення величин радіусів кривизни перехідних кривих, що утворюються в западині зуба при установці осі обкатної фрези перпендикулярно до осі заготовки відрізної пили, використовуються раніше виведені залежності (32-34). При цьому вважаємо відомим мінімальний зовнішній діаметр найбільшого зуба обкатної фрези з урахуванням переточувань, а вершина зуба обкатної фрези не має радіуса заокруглення. Як показали попередні розрахунки, перехідні поверхні більшого розміру виникають на зубі обкатної фрези, що обробляє канавку відрізної пили найменшого кутового кроку.

На рис. 14 показано залежність розміру кривизни перехідних кривих від загальної кількості зубів, кількості зубів у групі, діаметра та товщини оброблювальної відрізної пили.

Найбільший вплив на розміри перехідної кривої (рис. 14) має загальна кількість зубів відрізної пили.

Розміри радіуса кривизни перехідної кривої різко зростають при зменшенні загальної кількості зубів пили. При одному і тому ж оброблювальному діаметрі відрізної пили на розміри перехідних кривих впливає кількість зубів у групі та товщина заготовки пили. Зі збільшенням кількості зубів у групі перехідні криві зменшуються, а при збільшенні товщини диску заготовки відрізної пили – незначно збільшуються, та найменша різниця між значеннями радіуса кривизни перехідної кривої має місце при формоутворенні відрізних пил з малою кількістю зубів і при її збільшенні ця різниця збільшується (рис. 14).

За отриманими даними розрахунків при збільшенні кількості зубів відрізної пили значення радіуса кривизни перехідної кривої наближається до значення нормованого радіуса заокруглення западини зуба пили. Величини цього радіуса згідно ГОСТ 2679-93 (ISO 2296-72) зображені на рисунку 14 двома горизонтальними лініями.

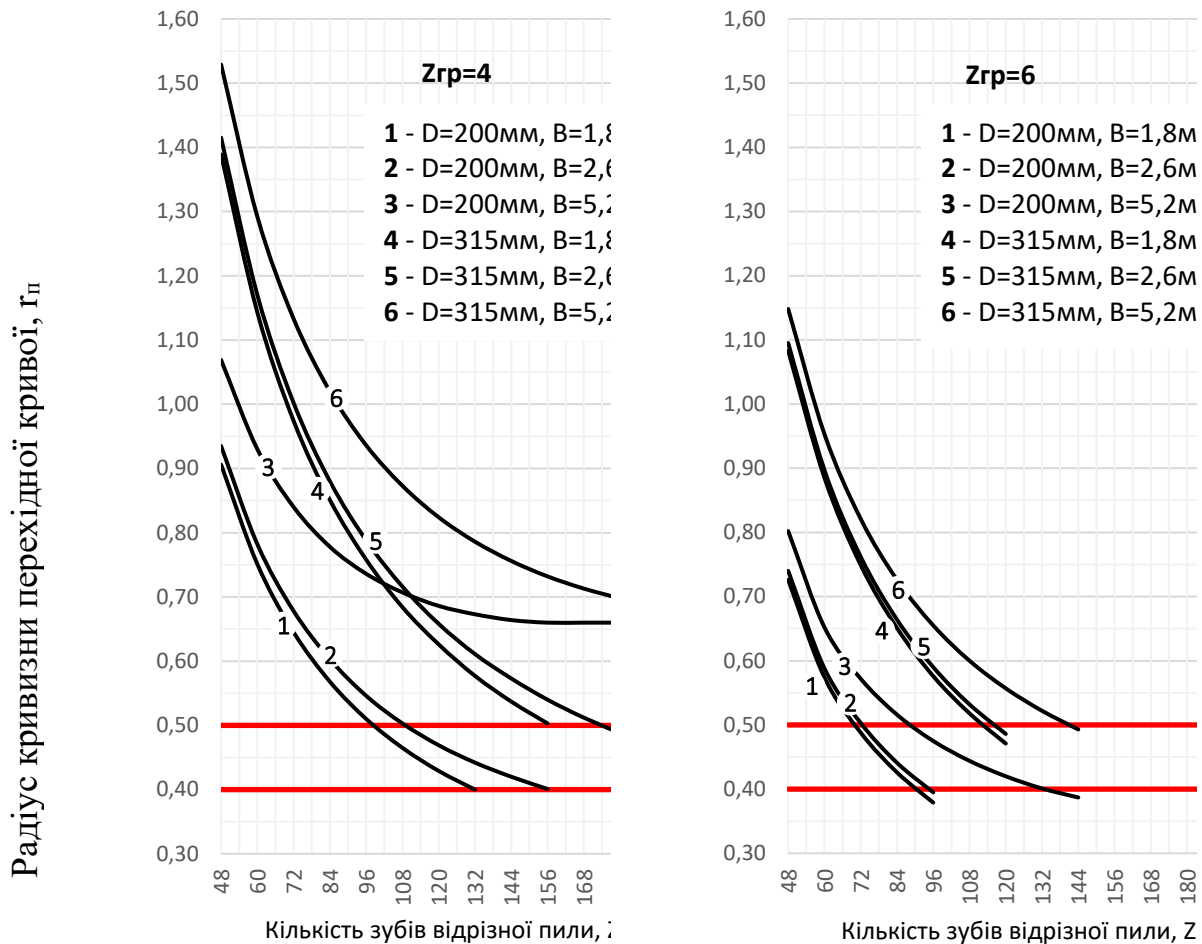


Рисунок 14. Радіуси кривизни перехідних кривих в западині зуба, що має найменший кутовий крок, при $\gamma=10^\circ$

Так, наприклад, при формоутворенні відрізної пили діаметром $D=315\text{мм}$, $Z_{gr}=4$ та $B=1,8\text{мм}$ та кількістю зубів $Z \geq 156$, обкатною фрезою мінімального зовнішнього діаметра, розмір радіуса кривизни перехідної кривої набуває значень $r_n \leq 0,5\text{мм}$, що є в межах допустимого значення за нормативними документами. Теж саме спостерігається, наприклад, при обробці відрізної пили діаметром $D=200\text{мм}$, $Z_{gr}=6$ та $B=2,5\text{мм}$ та кількістю зубів $Z \geq 96$, де радіус заокруглення канавки зуба має бути $r \leq 0,4\text{мм}$.

Таким чином, зі збільшенням загальної кількості зубів відрізної пили можлива обробка при установці осі обкатної фрези перпендикулярно до осі заготовки пили.

При відносно невеликій кількості зубів пили і при установці осі дискової обкатної фрези перпендикулярно до осі відрізної пили виникають порівняно

великі за розмірами перехідні поверхні. Щоб зменшити розміри перехідних поверхонь, та виконати третю умову формоутворення використовують нахилену установку осі дискової обкатної фрези по відношенню до осі пили [533, 545].

Від параметрів відрізних пил залежать діаметри обкатних фрез.

На рис. 15 наведено графік залежності діаметра найбільшого зуба обкатної фрези від конструктивних параметрів відрізних пил з нерівномірним кроком в групі.

З теорії формоутворення зубів відрізних пил обкатними фрезами, для виконання її другої умови, діаметри обкатної фрези можуть збільшуватись, тому є можливість обробляти відрізні пили з різними параметрами, обкатною фрезою одного діаметра, лише використовуючи різну заточку її по задніх поверхнях.

Так, відповідно до рисунка 15 обкатною фрезою діаметра $D=115\text{мм}$ можливо обробляти відрізні пили $D=200\text{мм}$, $Z_{gr}=4$ та $B\geq 1,8\text{мм}$ та загальною кількістю зубів $Z\geq 72$ при установці осі обкатної фрези перпендикулярно до осі відрізної пили. Обкатною фрезою цього ж діаметру можливо також обробляти пили $D=250\text{мм}$, $Z_{gr}=6$ та $B\geq 1,8\text{мм}$ з загальною кількістю зубів $Z\geq 156$.

Однак, з рис. 15 видно, що для формоутворення профілів зубів відрізних пил з невеликою загальною кількістю зубів обкатними фрезами, величини їх діаметрів різко зростають, що унеможлиблює використання їх на зубофрезерних верстатах із-за їх розмірів та неекономічного використання інструментального матеріалу, особливо при виготовленні їх із швидкорізальних сталей.

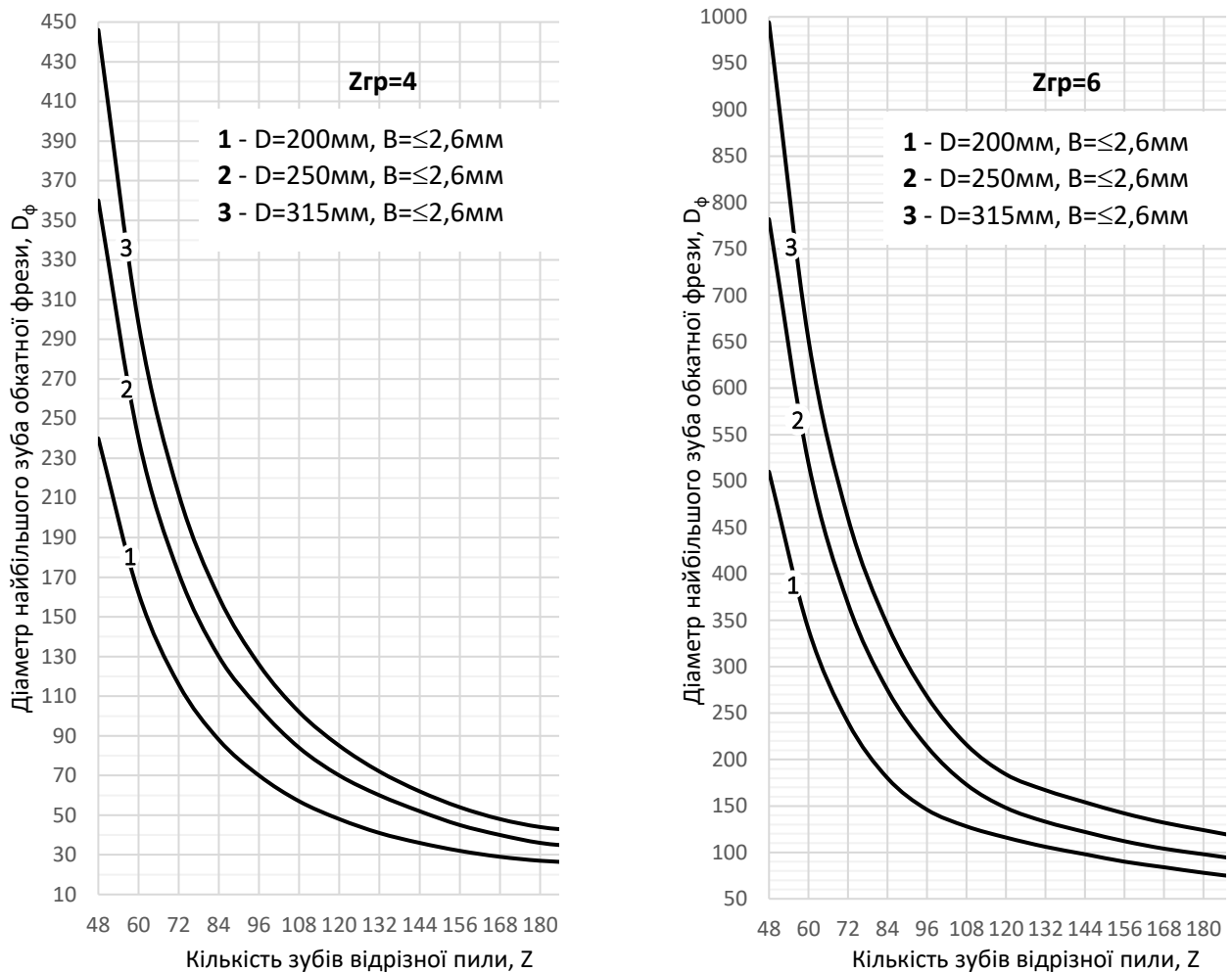


Рисунок 15. Діаметри обкатної фрези для обробки відрізних пил з різними параметрами, при $\gamma=10^\circ$

Таким чином представлена теорія являє собою теоретичну основу розробки обкатних фрез для обробки відрізних пил незалежно від профілю зуба пили та програм для їх виготовлення на верстатах с ЧПК, що найефективніше здійснюється на основі автоматизованого проектування обкатних фрез.

9.5 Визначення розрахункового навантаження в глобоїдних передачах

ВВЕДЕННЯ

Черв'ячні передачі і редуктори, в силу ряду позитивних особливостей: компактність при великих передаточних відношеннях; здатність передачі обертання між валами, що схрещуються; плавність роботи і т.д., получили широке застосування в різних галузях народного господарства.

Серед черв'ячних передач – глобоїдні, які мають більш високі експлуатаційні показники, знаходять все більш широке застосування особливо там, де при малих габаритах необхідно здійснити передачу великих навантажень; зокрема: ліфти, різноманітні лебідки, горні і транспортні машини, металургійне обладнання і т.д. Завдяки малим питомим показникам – ваги і габаритам, застосування глобоїдних редукторів дозволяє значно покращити технічні характеристики машин.

Для того щоб грамотно проектувати самі глобоїдні передачі, також як і інші види механічних передач, перш за все необхідно проаналізувати різноманітні види їх пошкоджень, чому і присвячується наступний матеріал.

Представлений матеріал може використовуватися в навчальному процесі при вивченні курсу «Деталі машин», або інших дисциплін, які зв'язані з конструюванням різноманітних механічних приладів.

9.5.1 Типові пошкодження деталей глобоїдної передачі

Найбільш характерними видами пошкоджень глобоїдних передач являються: підвищений знос робочих поверхонь зуб'їв колеса і витків черв'яка; заїдання робочих поверхонь; поломка зуб'їв колеса; викришування на робочих поверхнях зуб'їв колеса; поломка черв'яка.

В практиці найбільш часто зустрічаються перші два види руйнувань.

Знос. В початковий період роботи глобоїдної передачі спостерігається приробітковий знос, який полягає в згладжуванні робочих поверхонь в

результаті пластичних деформацій і стирання наявних на них мікронерівностей, які обумовлені способом обробітки елементів передачі. Приробіткове зношування поліпшує стан робочих поверхонь і збільшує дійсну площу контакту. Величина зносу в різних зонах зуба колеса і витка черв'яка не однакова, що пояснюється нерівномірним розподілом навантаження [556]. В результаті більш інтенсивного приробіткового зносу в найбільш навантажених місцях, проходить часткове вирівнювання навантаження по контактним площадкам, тобто зниження початкової концентрації навантаження.

Поліпшення стану робочих поверхонь в період приробіткового зносу супроводжується зниженням температури масляної ванни і підвищенням к.к.д. Так при випробуванні глобоїдного редуктора ВР-150-41 [557] (табл. 1) були отримані наступні характеристики в залежності від ступені припрацювання (іспити проводились при $n_1 = 1500$ об/хв.).

Таблиця 1.

Вплив припрацювання на к.к.д. і нагрівання редуктора ВР-150-41

Ступень припрацювання	Потужність на черв'яку	Перепад температур Δt °С	К.к.д.
Протягом 2 годин	6,1	73,0	0,684
Добре припрацьований редуктор	6,1	59,0	0,802
Протягом 2 годин	7,2	74,0	0,682
Добре припрацьований редуктор	7,2	60,5	0,781
<i>Примітка: $\Delta t = t_{\text{олії}} - t_{\text{повітря}}$.</i>			

Результати багатьох експериментів над глобоїдними редукторами показали, що припрацювальний знос повністю закінчується через 70 ÷ 80 годин [557] і [558].

У процесі зносу глобоїдної передачі, так само, як і при зносі других видів передач, після приробіткового зносу слідує період зносу, що встановився.

Елементи зачеплення глобоїдної передачі виготовлюються з матеріалів, які значно відрізняються один від одного за твердістю (венці черв'ячних колес – бронза, черв'як – сталь). У зв'язку з цим процес припрацювання і подальша робота передачі проходять при інтенсивному зношуванні елементів деталі, яка виготовлена з м'якого матеріалу. Таким чином, довговічність передачі буде лімітована довговічністю зуб'їв колеса. В результаті тривалої експлуатації зуб'я колеса можуть стати настільки тонкими, що під дією навантаження, яке передається, головки зуб'їв відгинаються від поверхні витків черв'яка і навантаження концентрується на контактних лініях у ніжки зуб'їв. При цьому підвищуються удільні навантаження і настає підвищений («катастрофічний») знос, при якому подальша експлуатація передачі становиться недоцільною, так як значно падає к.к.д. і підвищується температура олії.

На основі експериментів, які були проведені над рядом редукторів різних типорозмірів, була отримана залежність норми зносу від габаритів передачі [557]:

$$W_{\text{зн}} = 5 \cdot 10^{-10} \cdot a \frac{\text{мм}}{\text{об}},$$

де a – міжосьова відстань передачі.

Заїдання. Заїдання характеризується відривом найдрібніших частинок робочих поверхонь зуб'їв з більш м'якого металу (колеса) і прочне з'єднання їх з більш твердою поверхнею (витками черв'яка). В разі рідинного тертя, тобто при існуванні масляного шару між поверхнями, які труться, заїдання не виникає.

Умови роботи зачеплення глобоїдної передачі такі як:

- невелика різниця в кривизні витка черв'яка і зуба колеса в зоні контакту;
- велика швидкість ковзання;
- великий кут між вектором швидкості ковзання і дотичної до лінії контакту (він близький до 90°).

Ці умови забезпечують умови для створення стабільного масляного клину.

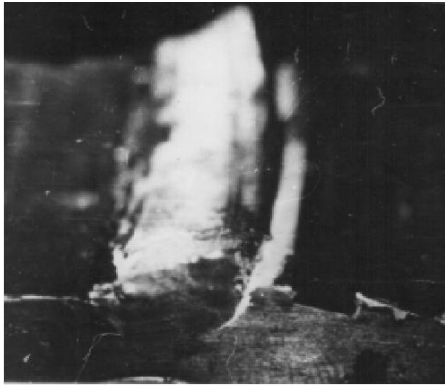
Заїдання виникає при великих контактних напруженнях на вершинах гребінців мікронерівностей і при наявності сухого або граничного тертя.

Заїдання може проходити в «м'якої» формі у вигляді «намазування» поверхні витків черв'яка бронзою, при цьому відбувається поступовий знос зуб'їв колеса і термін праці такої передачі буде обумовлений інтенсивністю зносу. При виникненні в початковий період роботи передачі «намазування» бронзи на витки черв'яка після припрацювання даний вид заїдання може припинитися. Так, при випробуванні редуктора ВР-150-10,25 при виникненні «намазування» збільшилася температура олії і впав к.к.д. на 0,7%, а потім, при продовженні роботи передачі при тому же навантаженні, к.к.д. і температура олії поступово відновилися [557].

Значна концентрація навантаження може привести до руйнування масляної плівки і підвищенню контактного тиску, що в свою чергу, сприяє виникненню заїдання і його більш тяжкої форми - до задир. При випробуванні редуктора РГУ-120-47 при граничному навантаженні (моменті) $T_2 = 1,31$ кН·м стався задир, який супроводжувався підвищенням температури і зменшенням к.к.д. с $\eta = 0,695$ до $\eta = 0,605$ [557]. Слідуює відмітити, що навантаження, яке вибрано з необхідним запасом на заїдання, забезпечує і незначний знос елементів передачі.

Поломка зуб'їв колеса. Поломка зуб'їв колеса спостерігається головним чином після досягнення певної стадії зносу. Дослідження характеру поломки зуб'їв колеса показало, що найчастіше причиною руйнування є радіальна тріщина, яка появляється у галтелі зуба (рис. 1, а).

Завдяки цьому збільшується податливість зуба, він відгинається від витка черв'яка і навантаження, що діє на зуб, концентрується безпосередньо біля основи зуба. Подальша руйнація зубу відбувається внаслідок зрізу по циліндричній поверхні радіусу, рівного радіусу вершин витків черв'яка (рис. 1, б).



a



б

Рисунок 1. Поломка зуб'ів глобоїдного колеса.

Аналогічне руйнування спостерігалось при іспитах передачі 150-31 з колесом з чавуна [557]. Зуб зламався після сильного зносу (рис.2).

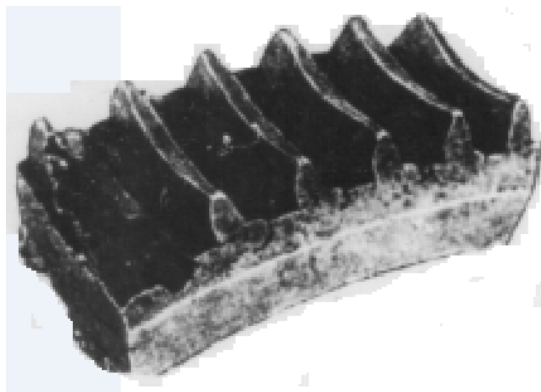


Рисунок 2. Злом зуб'ів колеса передачі 150-31 після сильного зносу.

Викришування. Викришування робочих поверхонь зуб'ів колеса виникає рідко. Так в роботі [557] описуються лише два випадки подібного руйнування. В першому випадку викришування спостерігалось при випробуванні передач тролейбуса, в другому випадку (рис. 3) – при експлуатації глобоїдної передачі нафтопереробної установки з наступними параметрами передачі:

- міжосьова відстань $a_w = 270$ мм;
- передаточне відношення $u_{12} = 35,6$;
- число обертів черв'яка $n_1 = 3000$ об/мін;
- потужність $P_1 = 184$ кВт.



Рисунок 3. Викришування робочих поверхонь зуб'їв колеса глобоїдної передачі нафтопереробної установки.

Викришування робочих поверхонь зуб'їв виникало на вхідній частині зуба колеса. В цих передачах було виявлено велике осьове зміщення черв'яка (до 2 мм). Таке зміщення черв'яка викликало значну концентрацію загрузки на вхідних частинах зуб'їв.

Робочі поверхні зуб'їв колеса механізмів, які працюють в крановому режимі, також можуть руйнуватися через втомливе викришування [559]. В практиці випробування редукторів в лабораторії зубчастих передач Одеського політехнічного інституту (нині «Національний університет «Одеська політехніка»), спостерігалось викришування в передачі з $a = 160$ мм, $u_{12} = 20$ при $n = 750$ об/мін, $T_2 = 250$ Н·м після 100 годин випробувань (рис. 4). Редуктор випробовувався в крановому режимі при ПВ-25.

Спочатку на вхідній і вихідній зонах робочих поверхонь зуб'їв колеса виникли дрібні ямки, які були спричинені, очевидно, заїданням, так як при частих пусках умови змащення значно гірші, ніж при безперервній роботі. Потім,

у зв'язку зі збільшенням контактного напруження внаслідок зменшення площі контакту, ці ямки з'єднуються тріщинками, які під тиском олії, яка попадає в них, розвивались і приводили до відколювання частинок металу. В даній передачі застосовувався черв'як з двома заходами і колесо з числом зуб'їв $z_2 = 40$. Внаслідок цього з однією і тою же ділянкою на витках черв'яка весь час працювали цілком визначені зуб'я. Неточність виготовлення черв'яка (неточне розташування одного витка відносно другого) привело до значної концентрації навантаження на вхідній частині зуб'їв при зачепленні його з одним витком (рис. 4, *a*) і концентрації навантаження на вихідній частині при зачепленні з другим витком (рис. 4, *b*).

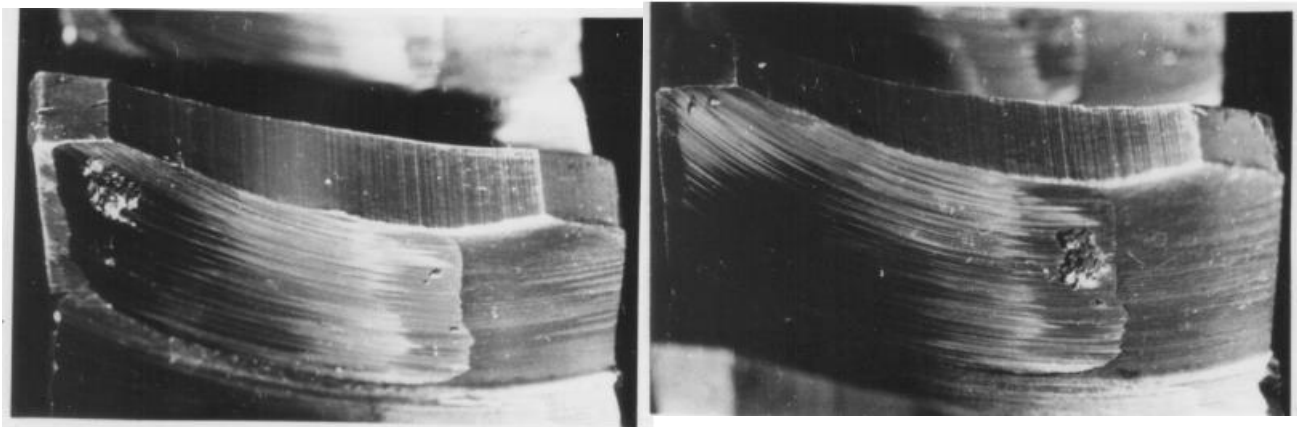
*a**b*

Рисунок 4. Робочі поверхні зуб'їв колеса передачі з $a = 160$ мм, $u_{12} = 20$ при $n = 750$ об/мін, $T_2 = 250$ Н·м після 100 годин випробувань в режимі ПВ-25.

Спочатку на вхідній і вихідній зонах робочих поверхонь зуб'їв колеса виникли дрібні ямки, які були спричинені, очевидно, заїданням, так як при частих пусках умови змащення значно гірші, ніж при безперервній роботі. Потім, у зв'язку зі збільшенням контактного напруження, внаслідок зменшення площі контакту, ці ямки з'єднувалися тріщинками, які під тиском олії, яка попадала в них, розвивалися і приводили до відколювання частинок металу. В даній передачі застосовувався черв'як з двома заходами і колесо з числом зуб'їв $z_2 = 40$. Внаслідок цього з однією і тою же ділянкою на витках черв'яка весь

час працювали цілком визначені зуб'я. Неточність виготовлення черв'яка (неточне розташування одного витка відносно другого) привело до значної концентрації навантаження на вхідній частині зуб'їв при зачепленні його з одним витком (рис. 4, *a*) і концентрації навантаження на вихідній частині при зачепленні з другим витком (рис. 4, *b*).

Поломка черв'яка. В роботі [560] описано випадок поломки черв'яка по горловому перерізу (рис. 5). Поломка явилась в наслідок втомного руйнування загартованого глобоїдного черв'яка.



Рисунок 5. Поломка черв'яка.

Сагін Л.І. в роботі [561] описує випадки поломок черв'яків, які мали місто на заводі «Азовсталь». В передачі злитковозу з міжосьовою відстанню 457,2 мм на черв'яку (поліпшення до твердості НВ-285) після тривалої роботи спочатку виникла поломка витка, а потім поломка його по горловому перерізу. На двох других таких же черв'яках виникли поломки витків. У всіх трьох випадках ламалися вихідні частини витка. Злом витків мав втомний характер (рис. 6).

В цих передачах було зафіксовано велике осьове зміщення черв'яка через недостатньо надійного кріплення стакану з упорними підшипниками. Осьове зміщення черв'яка викликало концентрацію навантаження на вихідній часті витків черв'яка, що призвело до злomu його витка. Злом по горловому перерізу першого черв'яка, на думку Сагіна Л.І., відбувся внаслідок занадто великого осьового зміщення черв'яка, коли вершини зуб'їв колеса і витка черв'яка увійшли в дотик з поверхнями впадин відповідно черв'яка і колеса, внаслідок чого виникло велике розпірне зусилля.

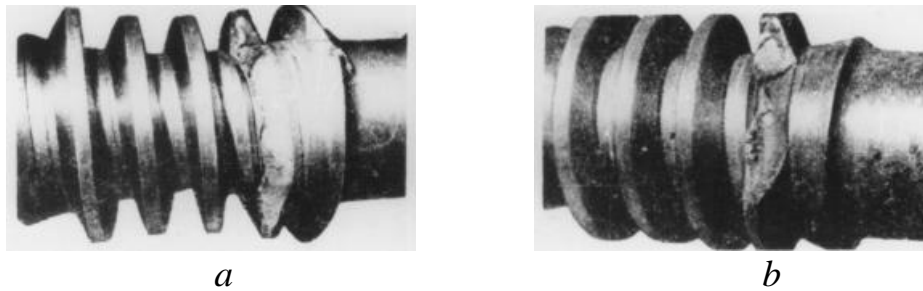


Рисунок 6. Поломки вхідних частин витків черв'яків передач, що були встановлені в злитковому на заводі «Азовсталь».

Зак П.С. [557] описує виламування вхідних кінців витків з зародженням тріщини на поверхні їх ніжок при приймальних іспитах протягом суток (кількість циклів $N_{ц1} = 4,5 \cdot 10^6$) глобоїдних передач насосу ТП-20/250 з міжосьовою відстанню $a = 150$ мм і передаточним відношенням $i = 59:4$ і припускає, що це руйнування було пов'язано з початковим натягом в зачепленні в поєднанні з великим числом обертів ($n_1 = 3000 \div 3700$ об/мін).

Окрім перерахованих видів руйнувань в роботі [557] описується випадок поломки обода колеса у небезпечному перерізі (в місцях установки шпильок) в час статичних випробувань передачі з міжосьовою відстанню $a = 150$ мм і передаточним відношенням 59 при восьмиразовому перевантаженні. При цьому спостерігалось змінання робочих поверхонь при восьмикратному перевантаженні. При цьому спостерігалось змінання робочих поверхонь зуб'їв при восьмикратному перевантаженні; на черв'яку ніяких залишкових деформацій не зафіксовано.

З перерахованого вище слідує, що основною причиною всіх видів пошкоджень передачі є концентрація навантаження в зачепленні. Однак ні в одному з перерахованих випадків не була встановлена причина концентрації навантаження. Ціллю даної роботи і є розробка методики визначення розподілу навантаження в зачепленні з урахуванням жорсткості деталей глобоїдної передачі.

9.5.2 Основні види розрахунків глобоїдної передачі

Визначення несучої здібності. Розрахунок глобоїдної передачі включає в себе визначення несучої здібності зачеплення з умови попередження заїдання і підвищеного зносу, перевірку напружень, які виникають в черв'яку і в зубі колеса, а також перевірку на нагрів.

В роботі [562] приводиться методика визначення несучої здібності черв'ячної глобоїдної передачі виходячи з її зносостійкості, яка побудована на підставі узагальнення розрахунків, відомих з зарубіжної практики. Подальший розвиток з урахуванням вітчизняного досвіду методика получила в роботі [557].

Розрахунок несучої здібності глобоїдної передачі проводиться за емпіричною залежністю [557]:

$$T_2 = 5,5 \cdot 10^{-4} a^3 k_\alpha k_i k_v \text{ (Н}\cdot\text{м)}, \quad (1)$$

де a – міжосьова відстань в мм;

k_α – масштабний коефіцієнт, який залежить від міжосьової відстані;

k_i – коефіцієнт, який враховує вплив передаточного відношення;

k_v – коефіцієнт, який враховує вплив швидкості обертання черв'яка.

Значення коефіцієнтів k_α , k_i і k_v визначено експериментально і наведені у вигляді графіків на рис. 7, 8 і 9.

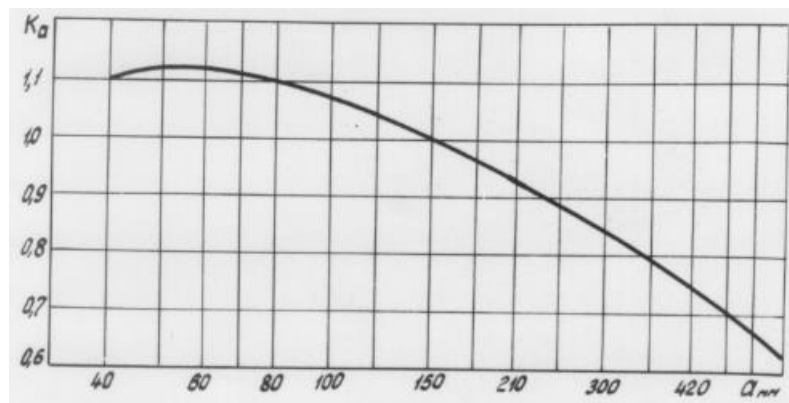


Рисунок 7. Графік залежності коефіцієнта k_α від міжосьової відстані.

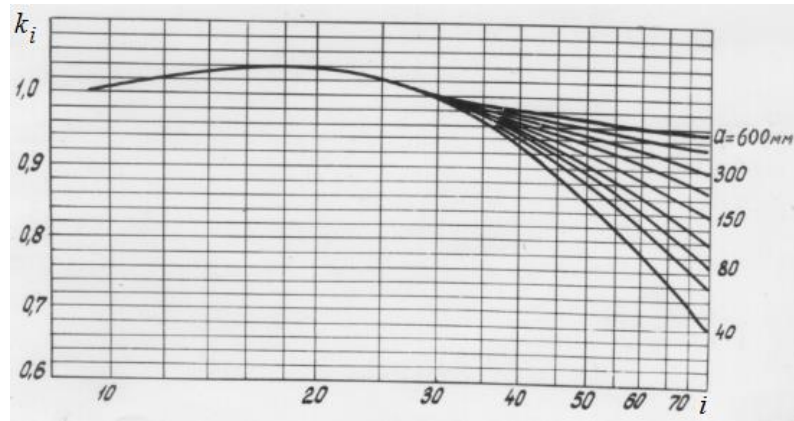


Рисунок 8. Графік залежності коефіцієнта k_i від міжосьової відстані a і передаточного відношення i .

Допустимий момент на валу колеса, який визначається по формулі (1), відноситься до класичної глобоїдної передачі, яка виконана по сьомому ступеню точності, з колесом з олов'янистої бронзи для неперервної цілодобової спокійної роботи. При зміні цих умов в розрахунок вводять додаткові поправочні коефіцієнти.

Врахування матеріалу, з якого виготовлено вінець колеса виконують з допомогою коефіцієнта k_m , значення якого рекомендують приймати наступні: для олов'янистої бронзи – 1,0; для бронз заміників – 0,8; для чавунів – 0,3.

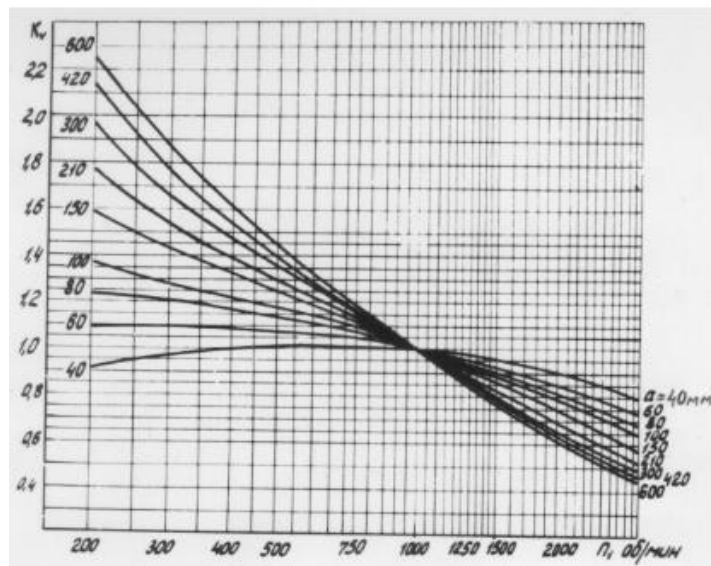


Рисунок 9. Графік залежності коефіцієнта k_v від частоти обертання черв'яка n_1 і міжосьової відстані a .

Коефіцієнт, який враховує геометрію зачеплення k_3 , для модифікованих передач і передач, які пропрацювали не менш 48 годин при поступовому підвищенні навантаження до номінального (тобто які пройшли обкатку не менше 48 годин при поступовому підвищенні навантаження до номінального значення (іншими словами пройшли обкатку) приймається в залежності від передаточного числа: при $i > 25$ $k_3 = 1,2$; при $i = 25 \div 10$ – $k_3 = 1,15$ і при $i < 10$ – $k_3 = 1,1$.

Точність виготовлення передачі враховується коефіцієнтом k_T , який має наступні значення: сьома ступінь точності – $k_T = 1$; восьма – $k_T = 0,8$.

Режим роботи передачі враховується коефіцієнтом режиму роботи k_r , значення якого наведені в таблиці 2.

Таким чином формула 1 приймає наступний вид

$$T_2 = 5,5 \cdot 10^{-4} a^3 k_\alpha k_i k_v k_m k_3 k_T k_r. \quad (2)$$

Таблиця 2

Коефіцієнт режиму роботи k_r

Режим роботи	k_r
Непереривна цілодобова спокійна* робота, товчки відсутні	1.0
Непереривна робота протягом 8-10 ч з товчками і короткочасними перевантаженнями до 125% від розрахункової	0,85
Непереривна робота протягом 8-10 ч з сильними ударними і короткочасними перевантаженнями до 200% від розрахункової	0,75
Періодична робота (наприклад, робота 15 хвилин з перервою 2 години), навантаження спокійне	1,4
* Під спокійною розуміється робота при навантаженні, яке змінюється в межах 10% від нормального. ** Під короткочасним перевантаженням розуміється навантаження тривалістю: 1) до 15 хвилин при навантаженні до 125% від номінального, 2) до 0,5 хвилин при навантаженні до 200% від номінальної.	

При проектуванні передач зазвичай по заданій величині навантаження визначають міжосьову відстань. Для рішення цієї задачі, на рис. 10 наведена

номограма, по якій визначають міжосьову відстань a згідно умовному моменту $T_{2\text{ум}}$, який розраховується згідно наступній формулі

$$T_{2\text{ум}} = \frac{T_2}{k_M \cdot k_3 \cdot k_T \cdot k_p},$$

де T_2 – заданий крутний момент на колесі.

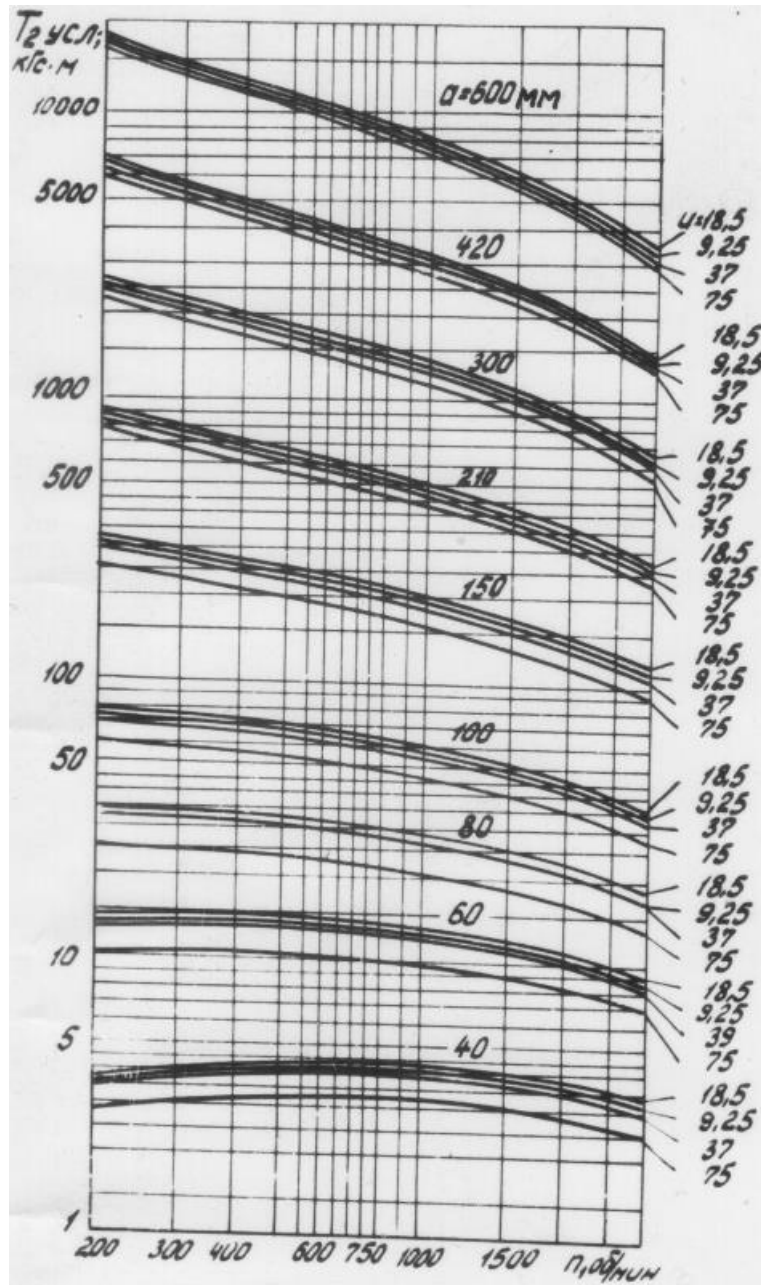


Рисунок 10. Номограма залежності $T_{2\text{ум}}$ від частоти обертання черв'яка n_1 і передаточного відношення i .

Емпіричний підхід, який спостерігається при розрахунку несучої здібності глобоїдних передач, обмежує можливість застосування даної методики до усіх різновидів глобоїдних передач. Використовуючи цю методику неможливо визначити коли наступить період «катастрофічного» зносу, встановити довговічність передачі.

Розрахунок черв'яка. Одним з важливих факторів, що характеризують якість передачі є к.к.д., на величину якого надає значний вплив кут підйому витка черв'яка γ : з ростом кута підйому витка черв'яка росте і к.к.д. (рис. 11). Звідси виникає прагнення застосовувати черв'яки з мінімально допустимим по міцності діаметром.

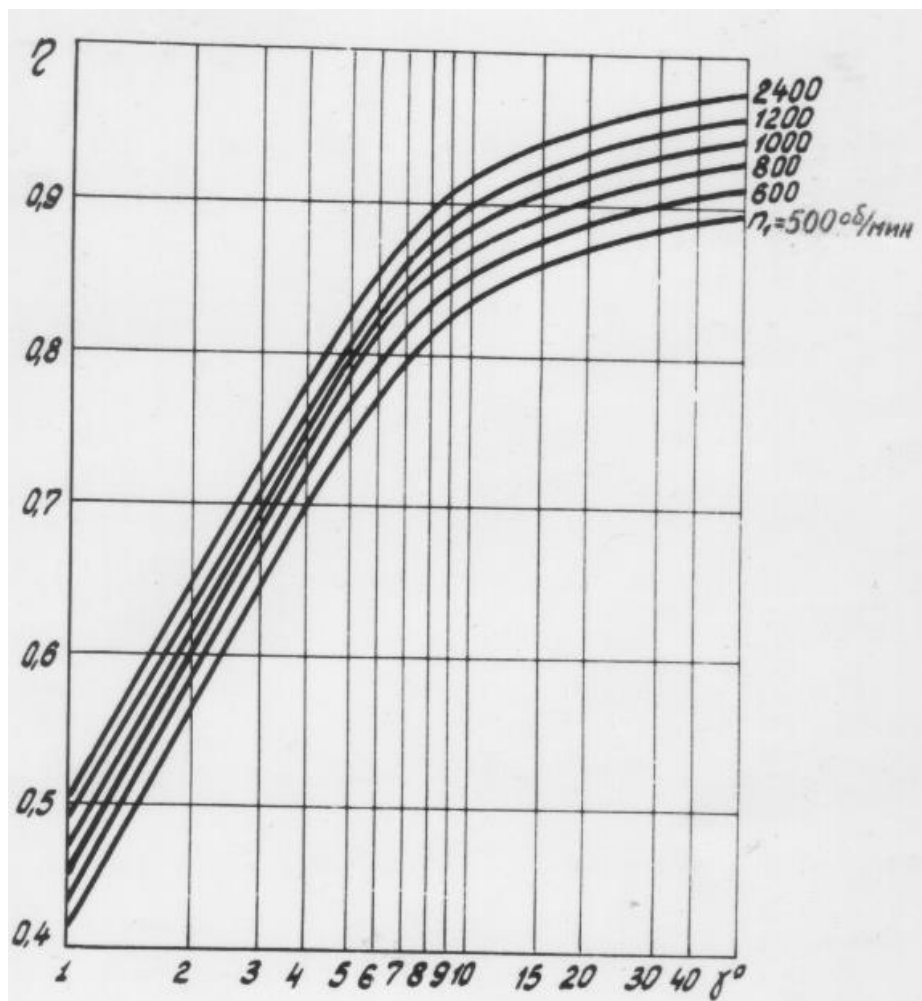


Рисунок 11. Залежність к.к.д. передачі від кута підйому гвинтової лінії черв'яка.

T_1 – крутний момент на черв'яку;

$W_z = 0,1 \cdot d_{f1}^3$ – момент опору середнього перерізу черв'яка;

k_σ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень.

Згинаючий момент згідно з рис. 12, *a*

$$M_3 = R_A \cdot l_2 = \sqrt{R_{AB}^2 + R_{AG}^2} \cdot l_2.$$

Реакція в опорі *A* в вертикальній площині

$$R_{AB} = \frac{F_2 \cdot r_1 + Q \cdot l_2}{l_1 + l_2},$$

де $F_2 = \frac{2T_2}{d_2}$;

$$Q = P_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

при цьому $\alpha = 20^\circ$.

Реакція в опорі *A* в горизонтальній площині

$$R_{AG} = \frac{F_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot l_2}{l_1 + l_2}.$$

Аналогічний розрахунок перевірки міцності черв'яка в роботі [557], однак при цьому приймається $\alpha = 12^\circ$, що отримано з урахуванням розподілу навантаження між зуб'ями у глобоїдному зачепленні. В роботі [557] розподіл навантаження між зуб'ями визначено експериментально для двох типорозмірів передач: $a = 150$ мм, $i_{12} = 59$, $z_1 = 1$, $d_1 = 44$ мм і $a = 150$ мм, $i_{12} = 37$, $z_1 = 1$, $d_1 = 44$ мм. Ці експериментальні данні не можуть бути розповсюджені на весь ряд редукторів, так як в експериментах не враховано вплив різних конструктивних особливостей передач (наприклад, різних діаметрів черв'яків одного і того ж типорозміру передачі).

Оскільки сили, які діють на черв'як, прикладені на ділянці, розмір якої приблизно $0,25 \div 0,30$ відстані між опорами (рис. 12, *b*), то результуючий згинальний момент в горловині черв'яка по вказаній розрахунковій схемі буде більше ніж діючий в працюючій передачі, а напруги, які отримані розрахунком по схемі, що представлена на рис. 12, *a* далекі від фактичних. Перехід від розрахункової схеми, яка представлена на рис. 12, *a* до розрахункової схеми на рис. 12, *b* з заміною всіх сил, що діють на витки черв'яка, рівнодіючою в середньому перерізі черв'яка під кутом $\alpha = 12^\circ$, також є неточним.

Підрахунок величини моменту опору згину поперечного перерізу черв'яка виконують по діаметру впадин черв'яка, чим також завищуються розрахункові напруження.

Крім відміченого слідє указати також на розходження значень ефективного коефіцієнта концентрації напружень у основи витка черв'яка: так в роботі [562] – $k_\sigma = 2,6$; в роботі [563] – $k_\sigma = 1,2 \div 1,4$; в [564] – $k_\sigma = 1,12 \div 1,15$ (для черв'яків підданих покращенню).

Розрахунок зуб'їв колеса. В глобоїдній передачі теоретична контактна лінія розташовується по висоті зуба від вершини до його основи, незначно відхиляючись від радіального напрямлення (рис. 13). Через деформації елементів передачі під дією загрузки, що передається, а також із-за припрацювання контактна лінія перетворюється в контактну площадку.

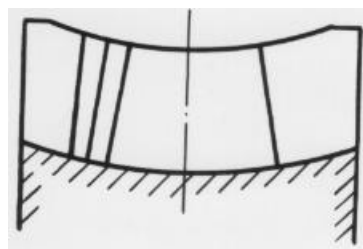


Рис. 13. Розташування контактних ліній на поверхні зуба колеса.

Точки прикладання рівнодіючої тиску вздовж контактної лінії зазвичай приймають розташованою по середині висоти зуба [565], тобто передбачається, що тиск рівномірно розподіляється вздовж контактної лінії (рис. 1.15, *a*).

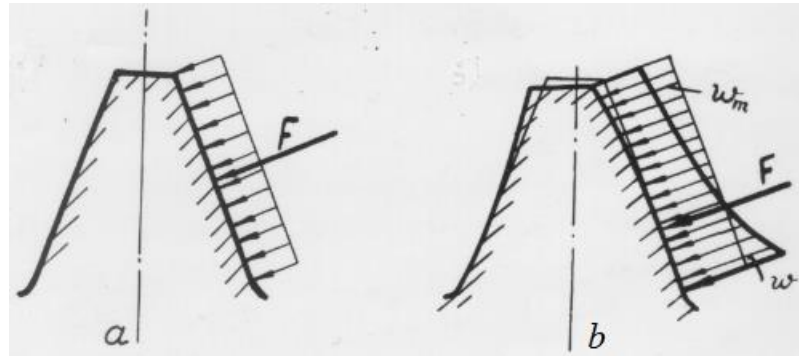


Рис. 14. Тиск вздовж контактної лінії.

На ранній стадії розрахунків передбачалося, що все навантаження передається одним зубом, при цьому враховується тільки нормальні напруження згину, величину яких визначали по формулі:

$$\sigma = \frac{M_3 \cdot k_\sigma}{W_z}, \quad (1.4)$$

де $M_3 = \frac{2T_2}{d_2} h_{f2}$ – момент згину;

h_{f2} – висота ділильної ніжки зуба;

W_z – момент опору згинання;

k_σ – коефіцієнт концентрації напружень.

В подальшому приймали, що сила навіть до припрацювання розподіляється по крайній мірі між двома зуб'ями і тому в формулу (1.4) було введено коефіцієнт 0,5:

$$\sigma = 0,5 \cdot \frac{M_3 \cdot k_\sigma}{W_z}, \quad (1.5)$$

В роботі [557] вказується, що при розрахунку зуб'їв колеса на міцність головне значення має розподіл навантаження, яке діє на найбільш навантажений зуб з зубів, що одночасно знаходяться в зачепленні. При цьому розрахунок міцності ведеться по дотичним напруженням:

$$\tau = \frac{F_{зр}}{S_{зр}}, \quad (1.6)$$

де $S_{зр}$ – площа поверхні зрізу.

Сила, що прикладена к зубу визначається по формулі:

$$F_{зр} = \frac{T_2}{d_2 \cdot 0,5 \cdot z_c \cdot \cos\gamma}, \quad (1.7)$$

де z_c – кількість зуб'їв, що одночасно знаходяться в зачепленні.

Отже, в цьому випадку фізичний сенс коефіцієнту 0,5 полягає в тому, що найбільш навантажений зуб сприяє таке навантаження, яке приходить на долю половини z_c зуб'їв, які одночасно входять в зачеплення, при умові, що навантаження рівномірно розподіляється між ними.

В роботі [556] вказується, що при перевантаженнях через підвищене осьове зміщення черв'яка, основне навантаження сприяють лише 2 – 3 зуба колеса. Крім цього рахують, що витки черв'яка практично на деформуються, а деформація зуб'їв колеса служить причиною концентрації навантаження по контактній лінії у основи зуба (рис. 1.14, б). У зв'язку з цим припускають, що рівнодіюча F , розподіленого навантаження w , виявляється прикладеною поблизу до поверхні зрізу.

Напруження зрізу в небезпечному перерізі визначаються по формулі (1.6), при цьому навантаження, що прикладається до одного зуба з урахуванням сил тертя визначається по формулі:

$$F_{зр} = \frac{\sqrt{F_2^2 + [F_2 \cdot \tan(\gamma + \rho)]^2}}{2,5}, \quad (1.8)$$

де ρ – кут тертя.

Тут прийнято число зуб'їв z_c , які одночасно беруть участь в роботі і рівномірно навантажені, рівним $z_c = 2,5$.

Робочі поверхні зуб'їв колеса перевіряються на відсутність пластичної деформації при перевантаженнях по формулі [566]:

$$\sigma_k = \frac{1,71}{a} \sqrt{\frac{E_{пр} \cdot T_{2max}}{\rho_{пр}}} \leq [\sigma_k^{пр}],$$

де $E_{пр} = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}$ – приведений модуль пружності матеріалів черв'яка і зуб'їв колеса;

$\rho_{пр} = k_\rho a$ – приведений радіус кривизни робочих поверхонь черв'яка і колеса (значення k_ρ наведені в табл. 1.3);

$[\sigma_k^{пр}] = 6\sigma_T$ – значення допустимих контактних напружень при перевантаженнях, яке встановлено опитним шляхом.

Таблиця 1.3

Значення коефіцієнта k_ρ

i_{12}	9,25	11,75	14,75	18,50	23,50	29,50	37,00	47,00	59,00
k_ρ	0,57	0,58	0,60	0,64	0,70	0,78	0,83	0,82	0,78

Розрахунок на нагрів. Повне використання переваг глобoidного зачеплення приводить к різкому зменшенню габаритів корпусу редуктора і, в зв'язку з цим, к зменшенню його відносної поверхні охолодження. Тому для глобoidних редукторів розрахунок на нагрів є надзвичайно важливим. На підставі рівняння теплового балансу допустима по нагріву потужність на валу черв'яка [557]:

$$P_{1н} = \frac{\tau^{\circ}(k_o \cdot S_o + 10S_{н})}{860(1 - \eta'_p) \frac{T_p}{T_{ц}}} \text{ кВт}, \quad (1.9)$$

де τ° – перепад температур, рівний різниці температур масляної ванни і довкілля в $^{\circ}\text{C}$;

k_o – коефіцієнт теплопередачі для поверхні редуктора, яка обдувається, в $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град})$;

S_o – площа поверхні редуктора, яка обдувається, в м^2 ;

$S_{н}$ – площа поверхні редуктора, яка не обдувається, в м^2 ;

η'_p – к.к.д. редуктора, без урахування втрат на вентилятор;

$\frac{T_p}{T_{ц}}$ – відносна тривалість роботи редуктора за один цикл;

T_p – тривалість роботи редуктора за один цикл;

$T_{ц}$ – тривалість циклу.

Величину коефіцієнта теплопередачі рекомендується приймати від 7,5 до 15 $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град})$ – при природному охолодженні і від 18 до 35 $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град})$ – під час обдування. Величина коефіцієнту теплопередачі залежить від швидкості руху повітря, розподілу температури по стінкам редуктора, інтенсивності циркуляції змащення всередині корпусу і таке інше. Тому вибір коефіцієнта k_o являється недостатньо диференційованим.

Величина поверхні охолодження, яку необхідно підставляти в формулу (1.9), різними авторами визначається по різному: одні рекомендують вводити в розрахунок тільки ту частину корпусу, яка зсередини омивається маслом, другі – поверхня нижньої частини корпусу до площині роз'єму.

В роботі [567] для редукторів РГНВ-150 і РГУ-120 рекомендують приймати наступну залежність:

$$P_{1н} = \frac{\tau^{\circ} \cdot k_0 \cdot S_{2p} \cdot p}{860 \cdot (1 - \eta'_p) \cdot \frac{T_p}{T_{ц}}} \text{ кВт},$$

де k_0 – коефіцієнт теплопередачі рівний 14,5 ккал/м².ч.град;

S_{2p} – величина розрахункової площі, яка визначалася виходячи зі ступеня участі різних частин поверхні корпусу та складає 0,85 – 0,9 від усієї площі зовнішньої поверхні редуктора;

p – коефіцієнт, що ураховує вплив розмірів частин валів, що виступають, а також конструктивні особливості кріплення редуктора до фундаменту.

Наведений тепловий розрахунок є непрямою перевіркою передачі попередження заїдання, так як тут враховують лише об'ємну температуру олії. В дійсності в зоні контакту виникає місцева підвищена температура, яка знаходиться в прямої залежності від загрузки в контакт. Нерівномірність розподілу навантаження вздовж контактних ліній викликає нерівномірність розподілу температури [568] і [569]. При одній і тій же температурі масляної ванни може бути різний розподіл температурив здовж контактних ліній. Значна концентрація загрузки на будь-якої ділянці контактної лінії може визвати значну температуру на цієї ділянці, яка може перевищити граничну температуру для даної олії. Це призведе до втрати олією його мастильних властивостей і до виникнення заїдання на даної ділянці.

Наведений короткий аналіз розрахунків передачі по відомим методикам, дозволяє відмітити характерні риси їх: розподіл навантаження в глобоїдному зачепленні враховується дуже приблизно і перевірка зуб'їв колеса виконується по одному виду напружень: або по дотичним, або по нормальним.

9.5.3 Фактори, які впливають на величину розрахункового навантаження

Неправильний облік нерівномірності розподілу навантаження по контактним лініям може привести к передчасному виходу передачі зі строю або до завищення

габаритів. Для того щоб правильно урахувати розподіл навантаження вздовж контактних ліній необхідно встановити першопричини які її визивають.

Причини нерівномірності розподілу навантаження можна розбити на дві групи [570]: похибки виготовлення і монтажу, недоліки експлуатації і пружні деформації деталей передачі.

До першої групи відносяться наступні основні причини:

- Похибки при нарізанні черв'яка і зуб'їв колеса.
- Неправильна посадка черв'ячного колеса на вал, яка викликана похибкою у розточуванні отвору в заготовці колеса або зміщенням посадочного міста на валу по відношенню к посадочним місцям під підшипники.
- Зміщення черв'яка відносно валу колеса через неточності в розточці посадочних отворів під підшипники в корпусі.
- Неправильна установка черв'яка і колеса в осьовому напрямку.

К другій групі відносяться:

- Згин і кручення тіла черв'яка.
- Деформація зуб'їв колеса і витків черв'яка.
- Деформація підшипників черв'яка, вала колеса і корпуса передачі.
- Зміна порядку послідовності навантажень, що приводить к перемінним деформаціям деталей передачі.

Слідє розрізняти початкову нерівномірність розподілу навантаження і діючу. Початкова нерівномірність навантаження існує в початковий період експлуатації і змінюється в залежності від того які зуб'я знаходяться в зачеплені. Це змінєння відбувається із-за змінної жорсткості елементів передачі вздовж зони зачеплення, а також із-за коливання розмірів різних елементів передачі в межах поля допуску (непостійність шагу і т.д.), відповідного ступеню точності виготовлення передачі.

Діюча нерівномірність навантаження визначається початковою нерівномірністю і матеріалом, режимом роботи і часом експлуатації. Вона залежить від здібності матеріалу прироблятися при даному режимі і являється

величиною зміною. Зміна нерівномірності навантаження викликається в основному наступними причинами:

- Зміною жорсткості зуб'їв колеса і витків черв'яка у зв'язку зі зносом. Зміна жорсткості витків черв'яка буде менше чим зуб'їв колеса, так як темп зносу витків значно менше ніж знос зуб'їв.

- Зміною жорсткості опор із-за зносу.

- Зміною осьового положення черв'яка відносно колеса із-за зносу його підшипників.

- Непостійністю навантаження, що передається, яке викликає змінні деформації елементів передачі і, відповідно знос по характеру близький до приробіткового зносу.

В наступний час мається вісьма обмежена кількість відомостей по жорсткості окремих елементів передачі; по жорсткості зуб'їв глобоїдного колеса і витків черв'яка ніяких даних нема.

В роботі [563] наведені деякі дані по прогину черв'яка для одного типорозміру редуктора, при цьому ніяких теоретичних обґрунтувань отриманих результатів не приводиться.

Методика визначення прогину черв'яка в середньому перетині передачі [571] оснований на використанні диференційного рівняння пружної лінії вала з глобоїдом без нарізки витків. Вплив гвинтової нарізки ураховується введенням поправочного коефіцієнту, який було отримано на основі обробки результатів експериментів. Дана методика не лишена деяких суперечливих положень. Наприклад, коефіцієнт урахування впливу гвинтової нарізки прийнято незалежним від діаметральних розмірів черв'яка, тоді як в залежності від співвідношення діаметрів впадин і виступів витків вплив нарізки на згинальну жорсткість валів з нарізкою різна [572] і [573]. Величина вказаного коефіцієнта значно змінюється в залежності від числа заходів черв'яка (жорсткість валика з одно західною нарізкою більше жорсткості гладкого валика на 6 ... 10%, а з двозахідною нарізкою на 19 – 20%). В цей же час в роботі [572] вказується, що число заходів до чотирьох можливо зовсім не враховувати. Результатами роботи

[571] для визначення розподілу навантаження скористатися скрутно, так як вони не дозволяють визначити пружну лінію черв'яка при дії на нього сили в будь-якій точці поля зачеплення.

9.5.4 Існуючі методи визначення розрахункового навантаження.

Постановка задачі і путі її рішення

Величина розрахункового навантаження F_{p2} (або величина розрахункового моменту T_{p2}) може бути представлена у вигляді:

$$F_{p2} = F_2 \cdot k \text{ або } T_{p2} = T_2 \cdot k. \quad (10)$$

Коефіцієнт навантаження визначається у вигляді добутку коефіцієнтів, які враховують різні фактори

$$k = k_p \cdot k_\beta \cdot k_d, \quad (11)$$

де k_p – коефіцієнт режиму, який враховує характер зміни робочого навантаження (постійне, змінне, частота прикладення навантаження і т.д.);

k_β – коефіцієнт концентрації навантаження по контактним лініям;

k_d – коефіцієнт динамічності навантаження, яким оцінюється величина додаткових навантажень в зачепленні, які викликані погрішністю виготовлення і другими факторами.

В залежності від виду розрахунку (на контактну міцність, на попередження заїдання, злому і т.п.) коефіцієнти k_p , k_β і k_d повинні мати різні значення.

Коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження при розрахунку на контактну міцність представляє собою відношення найбільшого питомого навантаження w_{max} до середнього при рівномірному його розподілі вздовж довжини контактних ліній ω_m :

$$k_\beta = \frac{\omega_{max}}{\omega_m} .$$

Коефіцієнт динамічності навантаження, який залежить від точності виготовлення передачі, частоти обертання черв'яка і т.д., ураховує додаткове

навантаження, яке виникає в моменти входу в зачеплення і виходу витків черв'яка. Для зменшення цього навантаження на вхідному і вихідному витках роблять завали витків. В існуючих передачах миттєві контактні лінії розташовуються по всій глибині заходу. Тому в моменти входу і виходу зуб'їв з зачеплення передача навантаження здійснюється зразу по всій висоті зуба, що викликає вібрацію і, відповідно, додаткове навантаження. Для зменшення цього явлення обкатну зону робочої поверхні зуба колеса зрізують під деяким кутом β [574], що дає поступове збільшення контактної лінії в момент входу і поступове зменшення – в момент виходу з зачеплення (рис. 15).

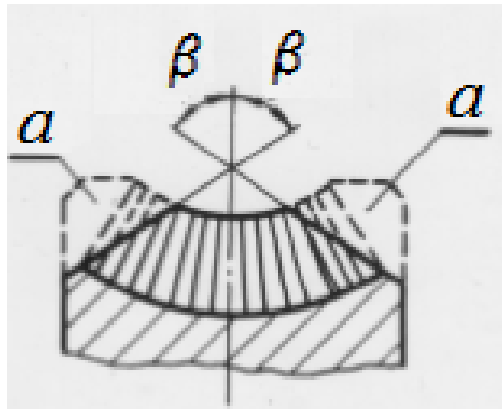


Рис. 15. Обкатна зона робочої поверхні зуба колеса.

В розрахунках глобоїдних передач, що наведені в розділі 2, поняття коефіцієнту концентрації навантаження у прямому смислі не застосовується [557]. Якщо формули (5) і (6) представити у наступному вигляді:

$$\sigma = \frac{F_p \cdot h_{f2} \cdot k_\sigma}{W_z},$$

$$\tau = \frac{F_p}{\cos \gamma \cdot S_{cp}},$$

то розрахункове навантаження F_p , що входить в ці вирази, буде

$$F_p = \frac{2T_2}{d_2 z_c} k_3,$$

де $k_3 = \frac{z_c F_{max}}{F_2}$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між

зуб'ями. Величина цього коефіцієнту нерівномірності розподілу навантаження між зуб'ями виявляється дуже різною (табл. 4).

Таблиця 4

Значення коефіцієнту k_3

Автор методики розрахунку	Число зуб'їв				
	4	5	6	7	8
Дікер Я.І., Сагін Л.І.	2	2,5	3	3,5	4
Часовніков Л.Д.	1,6	2	2,4	2,8	3,2
Зак П.С.	2,0				

З наведених даних видно, що приблизний облік концентрації навантаження в глобоїдному зачепленні за допомогою введення в розрахунки умовного числа зуб'їв є умовним, причому неточність збільшується з збільшенням числа зуб'їв, що знаходяться одночасно в зоні зачеплення. Умовність цього обліку полягає в тому, що коефіцієнти концентрації виходять незалежними від типорозміру передачі, опор валів, діаметра черв'яка (стандартом передбачено для одного типорозміру передачі черв'яки двох товщин).

З вище сказаного слідує, що в розрахунках передач необхідно враховувати розподіл навантаження в глобоїдному зачепленні, так як це дозволить уточнити розрахунки передач на міцність і на довговічність. Для визначення закону розподілу навантаження в зачепленні можна застосувати методику, що розроблена проф. К. І. Заблонським [558], для зубчастих передач, яка дозволяє при визначенні початкової нерівномірності врахувати вплив усіх факторів і оцінити зміну нерівномірності в процесі експлуатації передачі. Згідно вказаній методиці, необхідно скласти рівняння спільності деформацій, попередньо визначивши жорсткості окремих елементів передачі. Оскільки дані по жорсткості зуб'їв колеса і витків черв'яка відсутні, а по жорсткості самого черв'яка, опор черв'яка і колеса, а також других елементів передачі мається

незначна кількість суперечливих відомостей [563] і [571], то необхідно провести теоретичні і експериментальні дослідження для отримання цих даних. Потім проаналізувавши рішення по визначенню законів розподілу навантаження можна виявити ступінь впливу жорсткості різних елементів передачі на величину максимального навантаження.

Отриманий розподіл навантаження по контактним лініям необхідно використовувати при розрахунках зуб'їв колеса на міцність. При розрахунку на міцність черв'яка розподілене навантаження вздовж кожної контактної лінії можливо замінити зосередженою силою, вточнивши її розташування. У зв'язку з цим розрахункову схему при розрахунку черв'яка можливо представити як показано на рис. 12, *b*.

Дійсний розподіл навантаження має бути враховано і в других розрахунках: при розрахунках зуб'їв передачі на знос (він буде більшим в місцях концентрації навантаження); при розрахунку передачі на нагрів; при визначенні несучої здібності масляного клину необхідно враховувати найбільше навантаження по контактній лінії.

При розрахунку передачі на попередження різних видів пошкоджень повинні виконуватися наступні умови:

$$\text{на заїдання} - \sigma_{\text{к}}^{\text{max}} \leq [\sigma_{\text{зд}}];$$

$$\text{на викришування} - \sigma_{\text{к}}^{\text{max}} \leq [\sigma_{\text{к}}];$$

$$\text{на знос} - \sigma_{\text{к}}^{\text{max}} \leq [\sigma_{\text{кзн}}],$$

де $[\sigma_{\text{зд}}]$, $[\sigma_{\text{к}}]$ і $[\sigma_{\text{кзн}}]$ – допустимі контактні напруження, які знайдені з умови попередження заїдання, викришування і недопустимого темпу зносу відповідно.

При визначенні максимальних контактних напружень розрахункове питома навантаження знаходиться по наступній залежності

$$w_p = \frac{2T_2}{d_2 \cdot l_\Sigma}, \quad (13)$$

де l_Σ – сумарна довжина контактних ліній.

Таким чином метою подальших досліджень повинно бути дослідження факторів, які впливають на величину коефіцієнта нерівномірності розподілу навантаження при розрахунку на контактну міцність k_β і коефіцієнта нерівномірності розподілу навантаження між зуб'ями k_α .

SECTION 10. METALLURGY AND ENERGY

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.10.1

10.1 Умови виникнення пожеж під час витоку водню і його вплив на стійкість будівельних конструкцій машзалу АЕС

Однією із основних причин аварійних зупинок та руйнувань турбогенераторів, синхронних компенсаторів та електричних машин великої потужності, що охолоджуються газами, зокрема воднем, як у нашій країні, так і за кордоном, є інтенсивне забруднення охолоджуючого водню вологою з вмістом домішок кисню та турбінного мастила. Основними домішками, що можуть потрапити до корпусу генератора, є вода (з максимальною концентрацією 25 – 30 г/м³), кисень (0,2 г/м³), турбінне мастило (5,0 г/м³), водневомастильні аерозолі (0,15 г/ м³), тощо [575, 576].

Тільки за останні роки на електростанціях країн Європи сталося 28 аварій із руйнуванням турбогенераторів, що охолоджуються воднем. Причинами понад 90 % таких аварій є невірні дії обслуговуючого персоналу, який не дотримується правил експлуатації обладнання газомастильних систем турбогенераторів, а також встановленого порядку проведення вогневих ремонтних робіт.

На електростанціях мали місце ряд великих аварій з пожежею та частковим руйнуванням машзалу внаслідок горіння водню та мастила. Незважаючи на те, що причиною цих аварій не є порушення роботи газомастильної системи та ущільнень валу генератора, а, як правило, відбулось зростання вібрації валу та пошкодження підшипників, однак катастрофічний розвиток аварії відбувався саме внаслідок витоку і загорання водню та мастила після механічного пошкодження вузла ущільнень та кріплення зовнішніх щитків генератора.

Газова система турбогенератора має спеціальне обладнання, що дає можливість здійснювати безпечно заповнення генератора воднем та його видалення шляхом використання у якості проміжного агента інертного газу: видаляється інертним газом, потім повітрям, а повітря аналогічно видаляється інертним газом, потім воднем. За помилкового виконання цих операцій та відсутності контролю за складом газової суміші також можуть утворюватися

вибухонебезпечні суміші в корпусі генератора, поплавковому гідрозатворі, баці продувки. Водень може потрапляти до картерів підшипників, шинопроводів, системи охолодження обмотки статора дистиллятом, водяної системи газоохолоджувачів, та, накопичуючись, за визначеного відсоткового вмісту також утворює вибухонебезпечне середовище.

Займання можливе у будь яких місцях, де відбуваються витіки водню із корпусу генератора або газомасильної системи. Ступінь небезпеки визначається місцем витіку, близькістю людей та можливістю їхнього травмування, кількістю водню, що викидається, та можливістю запобігання подальшого горіння без зупинки турбоагрегату.

Пожежі відбуваються за значних витоків водню, частіше всього пов'язаних з повним або частковим руйнуванням генератора, або за значних витоків мастила. Горіння водню завжди супроводжується горінням мастила. Займання ж мастила ззовні генератора за його цілісності не призводить до займання водню.

Вибух у корпусі призупиненого генератора можливий лише внаслідок грубого порушення правил витіснення та заміни газового середовища у сполученні з несвоєчасним виконанням та низькою якістю аналізу вмісту водню в газовій суміші.

Аналіз причин аварій та аварійних ситуацій на турбогенераторах з водневою системою охолодження дав можливість виділити основні причини та місця виникнення аварій:

- утворення тріщин в ущільненнях прокладок генератора (водень виходить через нещільності до машзалу внаслідок збільшення підживлення генератора воднем);
- утворення тріщин у гумових прокладках газоохолоджувача (водень виходить через нещільності до машзалу внаслідок збільшення витрати водню);
- зниження тиску водню у корпусі генератора внаслідок значних витоків водню разом з мастилом через роз'ємні з'єднання зливного трубопроводу мастила;

- порушення вимог безпеки під час відбору проб газу (під час відкривання вентиля газового поста можливі витіки та займання водню);
- накопичення воднево-повітряної суміші у картері підшипника та під захисною обшивкою генератора;
- неякісний ремонт ущільнень, що зумовлює надходження мастила до генератора;
- розрив гумової ущільнюючої прокладки люка генератора;
- пошкодження і розгерметизація зовнішніх щитків генератора внаслідок виходу із ладу валу (відрив лопаток турбіни з наступною вібрацією).

Аналізом статистичних даних аварій на турбогенераторах було встановлено, що у більшості випадків причиною аварій та аварійних ситуацій є зниження перепаду тиску мастила та водню. До зниження перепаду тиску мастила та водню призводять:

- відмова або помилкові перемикання джерел мастилопостачання;
- неякісний ремонт або невірне налаштування регулювання перепаду тиску мастила і водню;
- помилкове перекриття вентиля (засувки) на напірних трубопроводах від джерел мастилопостачання до регулятора перепаду тиску і далі після регулятора до ущільнень;
- зростання гідравлічного опору на напірних трубопроводах від джерел мастилопостачання до регулятора перепаду тиску і далі після регулятора до ущільнень (забруднення тощо);
- порушення мастилощільності на будь якій ділянці напірних трубопроводів;
- значна витрата мастила.

Порушення в роботі обладнання газомасильної системи, що супроводжуються витіками водню та його загорянням, поділяються таким чином [577]:

- витіки через фланцеві з'єднання трубопроводів та штуцери – 20%;

- деформація ущільнюючих гумових прокладок (кришки люку, фланцю корпуса генератора, між корпусом ущільнення та зовнішнім щитком тощо) – 20%;
- прорив через поплавковий гідрозатвор – 10%;
- витoki та самозаймання водню за різкого відкриття вентиля на газовому посту – 10%;
- витoki через ущільнюючі гумові прокладки газоохолоджувачів – 10 %;
- витoki через прорив в картері підшипників – 9 %;
- витoki через зварні з'єднання трубопроводів – 6 %;
- витoki через фланцеві з'єднання поплавкового гідрозатвору – 6 %;
- порушення роботи регуляторів перепаду тиску мастила та водню – 6 %;
- витoki через горизонтальні роз'єми торцевих щитків – 3 %.

Частка випадків витоків водню, що супроводжуються вибухами водню, складає понад 15 %.

Просочування водню вздовж валу через нещільності також можливе і за нормального перепаду тиску мастила та водню – через перекося або пошкодження, заклинювання вкладиша ущільнення за неякісного ремонту ущільнень та подачі забрудненого мастила. Просочування водню через поплавковий гідрозатвор до зливної системи підшипників турбоагрегату через дефект клапана гідрозатвору, що зависає у відкритому положенні, досить небезпечний. Вибухи водневої системи охолодження генераторів, що виникають під час пожежі у машзалі, призводять до руйнування мастилопроводів та до розтікання мастила по майданчикам і на нульовій відмітці, сусідніх агрегатах, до кабельних тунелів тощо. За умов пожежі створюється небезпека обладнання і трубопроводів, що працюють під високим тиском.

Таким чином, найбільш пожежонебезпечними порушеннями під час експлуатації турбогенераторів з водневою системою охолодження є порушення, що супроводжуються втратою газощільності. Найбільш небезпечним є вихід водню до зливного мастилопроводу та до картерів підшипників: вздовж валу через ущільнення; через поплавковий гідрозатвор.

До основних причин пожежовибухонебезпеки турбогенераторів варто віднести: використання великої кількості горючих речовин та матеріалів, підвищення тиску мастила в системах регулювання, збільшення довжини мастилопроводів, ускладнення схеми регулювання і захисту, підвищення температури паропроводів, корпусу турбін тощо.

Встановлені на діючих АЕС України турбогенератори потужністю 220 і 1000 МВт також обладнані системою водневого охолодження. Використання водню у якості охолоджувального середовища у цих турбогенераторах зумовлено такими факторами [577]:

- підвищення одиничної потужності турбогенераторів за рахунок зростання їхніх габаритів обмежено величиною граничних механічних навантажень на елементи ротора;
- для подальшого підвищення потужності необхідне підвищення густини струму в обмотках і інтенсифікація охолодження;
- для інтенсифікації охолодження необхідне використання більш ефективного охолоджувального агента – водню, теплопровідність якого в 6 – 7 разів є більшою ніж теплопровідність повітря;
- застосування водню забезпечує також зменшення вентиляційних втрат завдяки його значно меншій густині порівняно із повітрям.

Система водневого охолодження є єдиною можливою системою охолодження для турбогенераторів великої потужності. Застосування цієї системи пов'язано із необхідністю створення спеціальної мастилосистеми для подачі мастила до ущільнень турбогенератора, що перешкоджає протіканням водню із корпусу через ущільнення вала. Разом з тим, застосування мастила сприяє підвищенню пожежної безпеки у турбінному відділенні.

Підвищення тиску водню зі зростанням потужності турбогенератора пояснюється тим, що у разі зростання тиску підвищується теплопровідність водню.

Нормативним документом [578] регламентується, крім чистоти водню, також і вміст кисню в водні, що знаходиться в корпусі турбогенератора (0,8 – 1,2

% залежно від тиску), коливання тиску водню в корпусі – не більше ± 20 кПа (за тиску більше 0,1 МПа) і допустимі добові витіки водню – не більше 5 % від загальної кількості газу за робочого тиску.

Подача водню для заповнення корпусів турбогенераторів здійснюється із загально-станційного трубопроводу через спеціальний управляючий вузол. Спустошення корпусів від водню у разі виведення турбогенератора в ремонт також здійснюється через цей вузол. Діаметр трубопроводів підведення водню складає 25 мм, скидання водню у атмосферу – 50 мм. Для витіснення водню із корпусу турбогенератора і заповнення його після скидання водню передбачено підведення нейтрального газу – азоту з метою убезпечення від утворення вибухонебезпечної суміші водню з повітрям.

Досвід експлуатації енергоблоків ТЕС і АЕС, на яких встановлені турбогенератори з водневим охолодженням, показав, що мали місце неодноразові порушення з виходом водню із корпусу турбогенератора. Ці порушення можна розділити за причинами їх виникнення на:

- протікання водню внаслідок видавлювання ущільнювальних прокладок між корпусом ущільнення і зовнішнім щитом або прокладкою кришки люка і фланця корпусу;
- протікання водню внаслідок часткового руйнування прокладок в горизонтальних роз'ємах торцевих щитів;
- протікання водню в картерах підшипників;
- протікання водню в зоні торцевого щита і корпусу ущільнення із-за руйнування ущільнень.

Більшість порушень не супроводжувалось загоранням або воно носило локальний характер і не мало серйозних наслідків із-за малих витрат горючих компонентів. Найбільш небезпечними порушеннями з аварійними наслідками є протікання водню внаслідок руйнування газомасильних ущільнень.

Причиною таких аварій є лавиноподібне підвищення вібрації валопроводу над допустимі межі внаслідок обриву лопаток, яке призвело до руйнування ущільнень і інтенсивного виходу водню із корпусу турбогенератора. У цьому

випадку відбувається горіння водню. У випадку змішування водню, що горить, з турбінними мастилом, що витікає із зруйнованих внаслідок вібрації мастилосистем, утворюється газомастильний факел з дуже високою температурою – більше 2000 °С, висота якого сягала металевих ферм і інших металокопструкцій даху машзалу. Внаслідок дії такої температури металокопструкції втрачали стійкість і відбувався її обвал. Ліквідація наслідків руйнування вимагала значних затрат і тривалого простоювання енергоблоку.

Статистика подібних аварій показує, що основною причиною виникнення пожежі в газомастильних ущільненнях турбогенератора є підвищення допустимих меж вібрації валопроводу, що призводить до руйнування ущільнень і витіканню водню, а також до протікання ущільнювального мастила. Водень, що виходить із корпусу турбогенератора, може за визначених умов спалахувати і утворювати горючий факел. Область спалахування суміші водню з повітрям 4,12 – 75,4 % об'єму, мінімальна енергія запалювання 0,002 МДж, температура самозапалювання 510 °С [579, 580, 581]. У випадку попадання ущільнювального мастила в факел згораючого водню мастило, що має температуру запалювання 210 – 220 °С, також загорасться і в результаті утворюється газомастильний факел з дуже високою температурою в його ядрі. Висота факела залежить від швидкості витікання газу, розмірів отвору, а також фізичних характеристик горючого продукту. Швидкість витікання визначається за загальними законами гідродинаміки залежно від різниці тиску водню в корпусі турбогенератора і в навколишньому середовищі, коефіцієнта витрати через аварійний отвір і густини газу. Час витікання залежить від об'єму газу в корпусі і швидкості витікання. Результати виконаних розрахунків для турбогенератора ТВВ-220-2АУЗ з об'ємом газу 73,0 м³ наведені в табл. 1.

Характеристика факельного горіння водню для турбогенератора
ТВВ-220-2ФУЗ

Назва параметра	Діаметр отвору, мм				
	5	10	50	100	200
Висота факела, м	1,15	2,3	11,5	23	46
Тривалість горіння, с	8850	2212	89	22	6
Швидкість витікання, м/с	420	420	418	413	387

Аналіз сучасного стану проблем, пов'язаних із забезпеченням вогнестійкості сталевих будівельних конструкцій, показує, що на багатьох об'єктах у технологічному процесі використовується велика кількість горючих газів та речовин з високими температурами горіння (турбінне мастило $T = 1400$ К, водень $T = 2200$ К). Інтенсивність теплового потоку за таких температур сягає $300 - 450$ кВт/м². Режими вогневої дії у випадку пожеж на цих об'єктах суттєво відрізняються від «стандартного температурного режиму» (тривалістю $\tau = 120$ хв, $T_{\max} = 1329$ К рис. 1 (крива 1)), «температурного режиму вуглеводневої пожежі» (тривалістю $\tau = 40$ хв, $T_{\max} = 1380$ К, рис. 1 (крива 2)), «температурного режиму модифікованої вуглеводневої пожежі» (тривалістю $\tau = 40$ хв, $T_{\max} = 1600$ К рис. 1 (крива 3)) [582].

На сьогодні в Україні немає методик теоретичного дослідження вогнестійкості металевих конструкцій за умов високих температур полум'я та інтенсивного теплообміну. Експериментальним шляхом дослідити їх вогнестійкість дуже складно, а інколи просто неможливо. Проблемою їх дослідження є великі габаритні розміри.

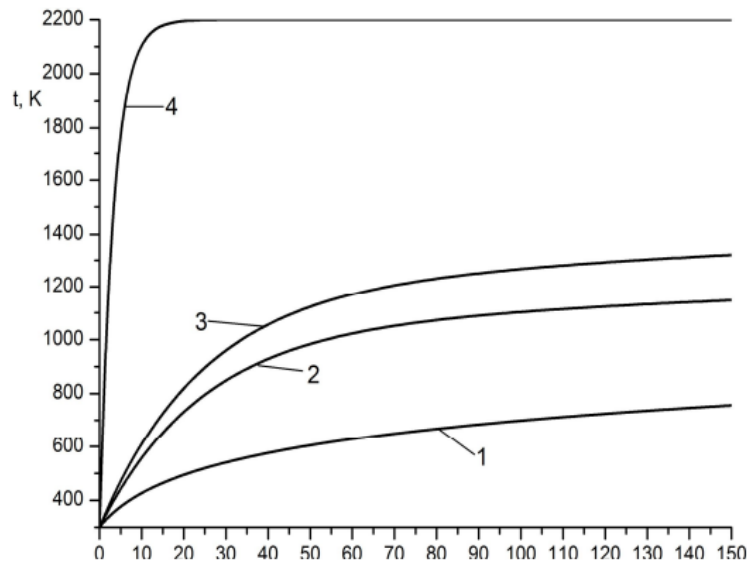


Рис. 1. Температурні режими пожежі: 1 – «стандартний температурний режим пожежі»; 2 – «температурний режим вуглеводневої пожежі»; 3 – «модифікований температурний режим вуглеводневої пожежі»; 4 – «температурний режим водневої пожежі»

Розглянемо зміну температури факела полум'я горіння воднево-повітряної суміші, яка коливається в межах від 2200 до 2600 К залежно від концентрації водню в повітрі [581]. Тривалість аварійного витoku (горіння) струменя водню досліджено в роботі [583] і вона становить 2,5 хв. Враховуючи, що температура факела полум'я дорівнює 2200 К і досягається за 15 – 20 с, температурний режим горіння водню математично змодельовано у вигляді:

$$T(\tau) = 2200 - (2200 - T_0) \cdot \exp(-0,3 \cdot \tau), \quad (1)$$

де τ – тривалість пожежі, с; T_0 – початкова температура, К.

Відповідно до рівняння (1) графік зміни температурного режиму водневої пожежі описується кривою 4, що зображена на рис. 1.

SECTION 11. TRANSPORT AND COMMUNICATIONS, SHIPBUILDING

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.11.1

11.1 5G wireless method with increased reliability and energy efficiency using terahertz frequency range

Існуючі мережі мобільного зв'язку переважно розгортаються у спектральному діапазоні нижче 3 ГГц. Але одним з перспективних напрямків розвитку мереж 5G є використання вищих частотних діапазонів, таких як діапазони міліметрових і терагерцових хвиль (від 30 до 300 ГГц) [584]. Особливістю терагерцового діапазонів хвиль є те, що вони забезпечують значно ширші спектральні смуги, даючи змогу суттєво підвищити пропускну здатність у стільнику. Іншою перевагою терагерцових хвиль є значно компактніші розміри передавальних та приймальних антен, що дає змогу використовувати більш ефективні схеми просторового мультиплексування за рахунок збільшення кількості антен, як на стороні базової станції так і на стороні абонентського пристрою. Проте, використання вищих частотних діапазонів вимагає врахування при цьому ряд проблем, які необхідно вирішити.

Необхідно розробити нові підходи до організації радіоканалів у діапазоні високих частот, які б дали змогу ефективно використовувати переваги та, водночас, усувати недоліки хвиль терагерцового діапазону. Зокрема, значні загасання потужності сигналу в діапазоні високих частот можна компенсувати більшою кількістю передавально-приймальних антен та більш складними алгоритмами просторового мультиплексування, які б дозволили підвищити енергетичну ефективність каналів зв'язку. Існуючі методи діаграмоутворення у поєднанні із алгоритмами просторового мультиплексування та компенсації інтерференції можуть підвищити енергетичну та спектральну ефективність мереж мобільного зв'язку при їх впровадженні у вищому спектральному діапазоні. Крім того, значне затухання хвиль терагерцового діапазону робить їх перспективними для використання в піко та фемто стільниках, де необхідно забезпечувати значну пропускну здатність в обмежених зонах. Це дозволить

зменшити відстань між спільноканальними стільниками і відповідно підвищити ефективність використання радіочастотних ресурсів в гетерогенних мережах.

Для ефективного впровадження мереж мобільного зв'язку у спектральному діапазоні 30-300 ГГц також, необхідно вирішити ряд проблем пов'язаних із кінцевими абонентським пристроями. Існуючі термінали мобільного зв'язку підтримують багато радіо інтерфейсів у різних частотних діапазонах. Наразі сучасні мобільні пристрої здатні ефективно функціонувати у діапазоні від 800 МГц до 2,7 ГГц, проте впровадження вищих частотних діапазонів вимагає суттєвого вдосконалення апаратної частини терміналів мобільного зв'язку. Також необхідно вдосконалити антенні системи для кінцевих абонентських пристроїв з метою забезпечення їх ефективного функціонування у будь-якому частотному діапазоні від 800 МГц до 300 ГГц.

Крім того, дослідження хвиль терагерцового діапазону показали, що через більш короткі довжини хвиль передача на вкрай високих частотах піддається блокуванню радіосигналу порівняно невеликими об'єктами. Цей ефект призводить до падіння рівня потужності на приймальній стороні і, тим самим, робить з'єднання терагерцового діапазону менш надійними. Тому представляють інтерес рішення, в яких ущільнення стільникової інфраструктури статично малими стільниками терагерцового діапазону доповнено рухомими вузлами мобільного зв'язку, що призводить до збільшення надійності встановлення з'єднання [585]. Для організації роботи мережі терагерцового діапазону з підвищеною надійністю можливе також використання одночасного підключення (multi-connectivity) абонентського терміналу (MT), коли він з'єднаний з двома і більше стільниками одночасно [586].

Важливо тільки замітити, що блокування з'єднання терагерцового діапазону є випадковою подією, яка вимагає негайної реакції з боку системи зв'язку [587], щоб уникнути розриву активної сесії. Отже, необхідно керувати одночасним підключенням абонентського терміналу до двох і більше з'єднань терагерцового діапазону для оперативного перенаправлення даної сесії на іншу точку радіодоступу при блокуванні поточного з'єднання. Таке управління є

новим функціоналом мережі доступу та відрізняється від відомих підходів, пов'язаних з вивантаженням абонентського трафіку на інші технології радіо доступу.

Тому одним з перспективних напрямків у бездротовій мережі з використанням терагерцового діапазону полягає в розробці інтелектуальних алгоритмів рішення естафетної передачі, щоб визначити час для виконання передачі обслуговування і забезпечення оптимального вибору технології мережі доступу серед всіх доступних мереж доступу для користувачів, які використовують багаторежимні мобільні термінали. Для забезпечення технічної реалізації даних алгоритмів автори розробили модель на основі засобів штучного інтелекту прогнозування максимальної дальності інтервалу прямої видимості терагерцового діапазону [588].

Відоме рішення з можливістю одночасного підключення було досліджене у програмного додатку до хмарних систем радіодоступу для підвищення ефективності обслуговування терміналів, розташованих на краю стільника [589].

Недоліком відомого рішення є те, в існуючих моделях хмарних обчислень все ще залишаються нерозв'язаними питання безпеки мережі та персональних даних. Не зважаючи на те, що централізовані хмарні сервіси є доволі зручними для кінцевих абонентів, така парадигма викликає критичні занепокоєння щодо конфіденційності даних абонентів, враховуючи те, що великі обсяги різних даних, які передаються у мережах мобільного зв'язку та Інтернету речей, зберігається та використовується в динамічних хмарних середовищах. Таким чином, довіряючи захист свої даних третій стороні, користувачі ризикують втратити їх конфіденційність, а також несуть супутні ризики, пов'язані із можливим використанням цих даних зловмисниками.

Також відоме рішення щодо керування системою обслуговування мобільних користувачів, яка складається з власної інфраструктури оператора мобільного зв'язку та орендованих підсистем обслуговування [590]. Автори запропонували комплекс методів для управління якістю обслуговування потоків у гетерогенному мобільному середовищі.

Недоліком відомого рішення є те, не досліджено питання спільного управління існуючими мережами для забезпечення QoS з використанням технологій терагерцового діапазону хвиль та підвищення продуктивності гетерогенної мережі.

Відомий спосіб для організації роботи мережі міліметрового діапазону хвиль з підвищеною надійністю [591] шляхом використання одночасного підключення (multi-connectivity) абонентського терміналу, тобто коли він з'єднаний з двома і більше стільниками одноразово. Дане рішення направлене на зниження часу, коли абонентський термінал залишається під'єднаним до базової станції (БС) міліметрового діапазону хвиль, з'єднання з якою заблоковано. У разі переходу з'єднання міліметрового діапазону хвиль з поточної БС у заблокований стан, обслуговування терміналу перенаправляється на іншу (резервну) БС, що має досить низьку ймовірність блокування з'єднання в поточній зоні знаходження абонента. Тим самим даний спосіб організації роботи мережі міліметрового діапазону хвиль побічно знижує ймовірність розриву сесії через недостатню якість з'єднання, викликаного його блокуванням. Для роботи цього способу на абонентському терміналі потрібна інформація про те, яка з потенційних БС міліметрового діапазону хвиль буде найменшою мірою заблокована для нього в поточній зоні обслуговування.

Недоліком відомого рішення є те, що складність його технічної реалізації на існуючій централізованій інфраструктурі мобільного зв'язку 5G призводить до додаткових затримок перемикавання каналів, оскільки рішення приймаються віддалено, та відповідно знижує загальну ефективність системи. Це пов'язано з тим, що існуюча централізована архітектура інфраструктури мереж мобільного зв'язку на сьогодні є вразливою з точки зору перевантаження обчислювальних ресурсів і тому вона не гарантує безперебійне надання сервісів IoT, у випадку коли у головних серверах виникають збої програмного забезпечення. Крім того, автори не навели як варіанти реалізації технічних рішень, так і не оцінили обчислювальні витрати та витрати часу на прийняття рішення згідно

запропонованого способу та його модифікованих версій, що є важливим для забезпечення необхідного показника якості роботи даної мережі QoS.

Найбільш близьким до заявленої корисної моделі є відомий спосіб мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю в терагерцовому діапазоні частот [592], що включає процес встановлення з'єднання мобільного терміналу, оснащеного кількома мережевими інтерфейсами, до кількох точок доступу в бездротових мережах, управління розташуванням мобільних терміналів, спеціальну процедуру передачі обслуговування (хендовер), яка має три послідовні операції – збір мережевої інформації, прийняття рішення і здійснення передачі обслуговування. Новим результатом запропонованого інноваційного рішення є попереднє формування комплексної бездротової мережі з залученням додаткових ресурсів сусідніх базових станцій та допоміжної кластерної мережі на базі мобільних терміналів, які знаходяться в режимі очікування, в зоні поточної базової станції для обслуговування користувачів; після встановлення з'єднання мобільного терміналу, оснащеного кількома мережевими інтерфейсами, до кількох точок доступу в комплексній бездротовій мережі проводиться моніторинг якості її роботи на базі використання засобів штучного інтелекту; при прийнятті рішення і здійсненні передачі обслуговування застосовується процедура вибору мережі та перехід до нової мережної точки приєднання при блокуванні динамічними перешкодами з'єднання каналу прямої видимості на базі розробленого алгоритму ініціалізації інтелектуального хендоверу, з врахуванням потужності сигналу в зонах покриття основної та сусідніх мереж, мережного енергозбереження, розподілення користувачів у зоні обслуговування головної базової станції, термінали яких знаходяться в режимі очікування, якості обслуговування, розподілення пропускної здатності в межах стільника.

Недоліком відомого рішення є те, що дійсно зв'язок між мобільними пристроями (D2D) підвищує пропускну здатність мережі, ефективність використання спектра та енергоефективність, одночасно підтримуючи різні територіально-орієнтовані та однорангові програми та послуги. Він грає важливу

роль у підвищенні пропускної спроможності мережі та використання ресурсів. Але незважаючи на унікальні можливості, які може уявити використання мобільних пристроїв D2D при розробці бездротового зв'язку 5G, існує багато невирішених проблем із розподілом ресурсів у інфокомунікаційних системах з використанням мобільних пристроїв D2D. І, у першу чергу, обмежена ємність акумуляторів і невелика тривалість автономної роботи є двома основними проблемами інтеграції мобільних пристроїв D2D в існуючі інфокомунікаційні інфраструктури. Тому, для досягнення очікуваної якості обслуговування QoS у мережах мобільного зв'язку з використанням хвиль терагерцового діапазону потрібний правильний розподіл ресурсів та їх оптимізація. Але при розробці даного інноваційного рішення питання розподілу ресурсів та оптимізації енергетичних і інформаційних ресурсів для бездротових мереж зв'язку з використанням принципів інтеграції мобільних пристроїв D2D та засобів бездротового живлення при збереженні очікуваних параметрів якості обслуговування (QoS) не розглядалося і не досліджувалося.

З цієї точки зору представляє інтерес відоме рішення на базі 3-х вузлової мережі кооперативного зв'язку з бездротовим живленням, що складається з джерела, приймача та ретранслятора з обмеженим споживанням енергії, в якій вузол ретрансляції збирає енергію з прийнятого сигналу для забезпечення передачі інформації в пункт призначення/приймач [593].

Недоліком відомого рішення є те, що автори розглядають тільки випадок відсутності прямого зв'язку між джерелом та приймачем і використовують протокол підсилення та прямої ретрансляції для підвищення продуктивності системи.

На відміну від [593], в [594] використовується кілька вузлів ретрансляції з селективною ретрансляцією з декодуванням та прямою передачею, та розглядається прямий зв'язок між джерелом та приймачем.

Недоліком відомого рішення є те, що їх розробка ґрунтувалася на запропонованих моделях без врахування впливу часової неточності синхронізації приймальних променів, які отриманні з прямої лінії зв'язку і за

допомогою ретрансляції, на загальну оцінку ефективності функціонування приймального пристрою і особливо на загальну пропускну спроможність. Також не досліджено питання спільного управління існуючими лініями зв'язку з використанням технологій терагерцового діапазону хвиль та підвищення продуктивності гетерогенної мережі. Крім того, не наведено пропозиції щодо формування інфраструктури окремих каналів зв'язку для ретрансляторів та алгоритм зміни режиму роботи в цілому системи при динамічному блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль для забезпечення QoS.

Задачею запропонованого інноваційного рішення є підвищення енергозбереження та надійності функціонування децентралізованих мереж мобільного зв'язку 5G при динамічному блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль на основі спільного використання частотно-часових та енергетичних ресурсів з використанням блокчейну і автономної слайсінгової інфраструктури на базі D2D мобільних терміналів терагерцового діапазону.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергозбереженням в терагерцовому діапазоні хвиль, що включає процес встановлення з'єднання МТ, оснащеного кількома мережевими інтерфейсами, до кількох точок доступу в бездротових мережах, управління розташуванням МТ, спеціальну процедуру передачі обслуговування (хендовер), яка має три послідовні операції – збір мережевої інформації, прийняття рішення і здійснення передачі обслуговування, додатково включає:

- попередню побудову віртуальної допоміжної інфраструктури ліній зв'язку між МТ абонента, МТ групи допоміжних ліній терагерцового діапазону, БС оператора обслуговування МТ абонента та встановлення відповідних з'єднань з обслуговуючою базовою станцією;
- після встановлення з'єднання МТ, оснащених кількома мережевими інтерфейсами, до кількох точок доступу в інтегрованій бездротовій мережі, функціонування мережевої інфраструктури забезпечується функціональними

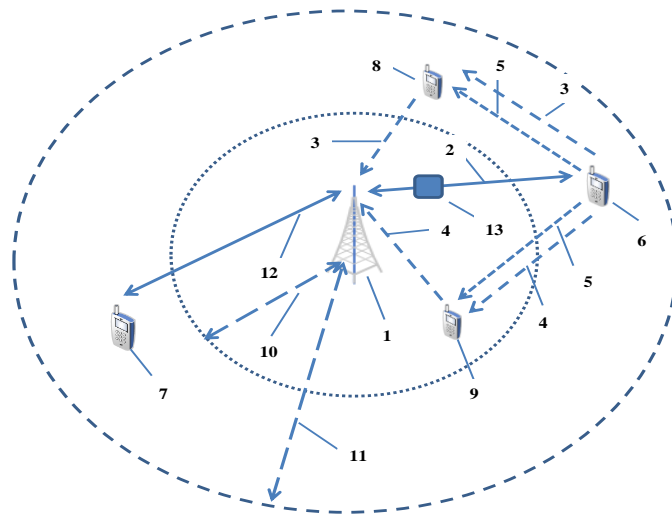
алгоритмами блоку передачі системи з протоколом збору енергії і кооперації, методу «розподілення потужності» і одночасної бездротової передачі інформації та енергії;

- при прийнятті рішення і здійсненні передачі обслуговування при блокуванні динамічними перешкодами з'єднання каналу прямої видимості застосовується процедура вибору конфігурації мережі та перехід до нової мережної точки приєднання (слайсів) на базі зміни режимів роботи МТ абонента, МТ групи допоміжних ліній терагерцового діапазону, які забезпечують QoS.

На малюнку 1 зображена схема реалізації запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю: режим роботи --слайс 1.

На ній:

- 1 – Поточна базова станція мережі.
- 2 – Основний висхідний канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку).
- 3 – Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 1: МТ абонента – МТ 1 -- поточна базова станція мережі.
- 4 – Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 2: МТ абонента – МТ 2 -- поточна базова станція мережі.
- 5 – Канал потоку енергії.
- 6 – МТ абонента.
- 7 – МТ кореспондента.
- 8 – МТ 1.
- 9 – МТ 2.
- 10 – r – радіус ближнього поля зони обслуговування поточної базової станції.
- 11 – R – радіуси дальнього поля зони обслуговування поточної базової станції.
12. Низхідний канал зв'язку з'єднання МТ кореспонденту з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку).
- 13 – блокатор.



Малюнок 1. Блок-схема реалізації запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю (режим-слайс 1).

На малюнку 2 зображена схема реалізації запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю: режим роботи при блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами при передачі в терагерцовому діапазоні хвиль - слайс 2.

На ній:

14 – Поточна базова станція мережі.

15 – Основний висхідний канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку).

16 – Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 1: МТ абонента – МТ 1 -- поточна базова станція мережі.

17 – Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 2: МТ абонента – МТ 2 -- поточна базова станція мережі.

18 - Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 3: МТ абонента – МТ 3 -- поточна базова станція мережі.

19 – Канал потоку енергії.

20 – МТ абонента.

21 – МТ кореспондента.

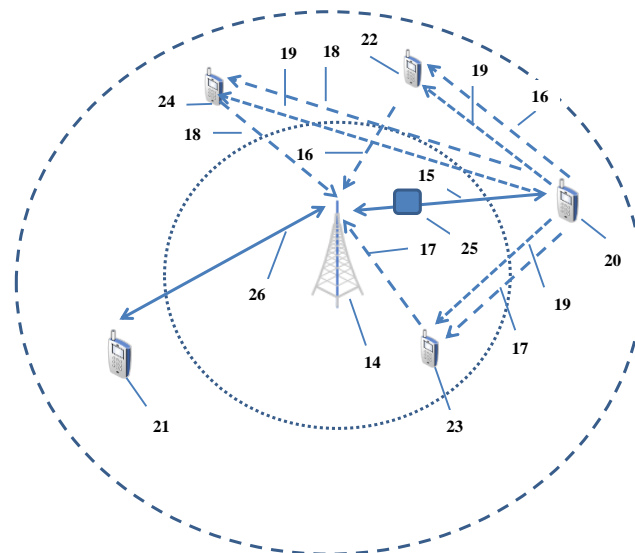
22 – МТ 1.

23 – МТ 2.

24 – МТ 3.

25 – блокатор.

26. Низхідний канал зв'язку з'єднання МТ кореспонденту з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку).



Малюнок 2. Блок-схема реалізації запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю (режим-слайс 2).

На малюнку 3 зображена структурна схема загального алгоритму функціонування запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю при використанні терагерцового діапазону частот, де

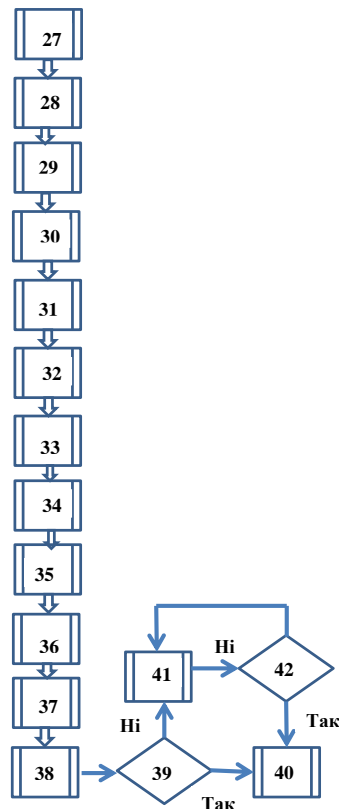
27 – МТ абонента встановлює з'єднання з довільною базовою станцією та надсилає власні вимоги.

28 - Базова станція надсилає запит сервісу абонента разом з його публічним ключем у блокчейн для перевірки смарт-контрактом.

29. Підтвердження інформації про абонента у розподіленому реєстрі та оголошення смарт-контрактом тендеру між операторами, які є у зоні видимості абонента.
30. Оператори аналізують запит абонента та визначають наявні можливості для обслуговування абонента.
31. Кожен оператор формує пропозиції для абонента, яка складається із множини показників якості та вартості сервісу.
32. Абонент розраховує значення функції корисності для кожного оператора, вибирає пропозицію оператора з найвищими значеннями показників інтегральної корисності та надсилає запит на реєстрацію у його мережі.
33. Оголошення смарт-контрактом тендеру між мобільними терміналами D2D, які є у зонах обслуговування ближнього і дальнього полів поточної базової станції, яку вибрав абонент.
34. Кожен мобільний термінал D2D формує пропозиції для абонента, яка складається із множини показників якості та вартості сервісу.
35. Абонент розраховує значення функції корисності для кожного мобільного терміналу D2D, вибирає пропозицію n МТ ($n = 1-5$) з найвищими значеннями показників інтегральної корисності та надсилає запит на їх реєстрацію його у мережі.
36. Оператор підтверджує реєстрацію абонента в мережі обраної базової станції та процедури формування віртуальної допоміжної лінії зв'язку терагерцового діапазону.
37. Оператор оновлюють реєстр в мережі блокчейн для запуску процесу тарифікації зв'язку для абонента.
38. Функціонування комплексної єдиної схеми збору енергії для автономної системи спільного зв'язку з використанням мобільних терміналів D2D та оптимальним розподілення ресурсів.
39. Оцінка стану основного висхідного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією і вибір режиму роботи.
40. Ситуація 1: нормальний режим роботи мережі мобільного зв'язку 5G.

41. Ситуація 2: режим роботи мережі мобільного зв'язку 5G при динамічному блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль.

42. Контроль стану заблокованого висхідного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією і вибір режиму роботи.



Малюнок 3. Структурна схема загального алгоритму функціонування запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю при використанні терагерцового діапазону частот

Запропонований спосіб здійснюють наступним чином. Загальний алгоритм функціонування запропонованого способу (див. малюнок 3) мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю при використанні терагерцового діапазону частот має три етапи, де

Етап I. Вибір абонентом БС оператора бездротової мережі терагерцового діапазону та встановлення з'єднання з обслуговуючою базовою станцією.

27 – МТ встановлює з'єднання з довільною базовою станцією та надсилає власні вимоги, а також вимірні значення для усіх видимих базових станцій.

28 - Базова станція надсилає запит сервісу абонента разом з його публічним ключем у блокчейн для перевірки смарт-контрактом.

29. Підтвердження інформації про абонента у розподіленому реєстрі та оголошення смарт-контрактом тендеру між операторами, які є у зоні видимості абонента.

30. Оператори аналізують запит абонента та визначають наявні можливості для обслуговування абонента.

31. Кожен оператор формує пропозиції для абонента, яка складається із множини показників якості та вартості сервісу.

32. Абонент розраховує значення функції корисності для кожного оператора, вибирає пропозицію оператора з найвищими значеннями показників інтегральної корисності та надсилає запит на реєстрацію у його мережі.

Етап II. Побудова віртуальної допоміжної лінії зв'язку між МТ абонента, МТ групи забезпечення допоміжної лінії терагерцового діапазону, БС оператора обслуговування МТ абонента та встановлення відповідних з'єднань з обслуговуючою базовою станцією.

33. Оголошення смарт-контрактом тендеру між мобільними терміналами D2D, які є у зонах обслуговування ближнього і дальнього полів базової станції, яку вибрав абонент.

34. Кожен мобільний термінал D2D формує пропозиції для абонента, яка складається із множини показників якості та вартості сервісу.

35. Абонент розраховує значення функції корисності для кожного мобільного терміналу D2D, вибирає пропозицію МТ з найвищими значеннями показників інтегральної корисності та надсилає запит на реєстрацію його у мережі та формування віртуальної допоміжної лінії зв'язку між «МТ абонента – МТ групи забезпечення допоміжної лінії терагерцового діапазону – базова станція оператора обслуговування абонента».

36. Оператор підтверджує реєстрацію абонента в мережі обраної базової станції та формування віртуальної допоміжної лінії зв'язку терагерцового діапазону.

37. Оператор оновлюють реєстр в мережі блокчейн для запуску процесу тарифікації зв'язку для абонента.

Етап III. Функціонування автономної системи спільного зв'язку з використанням мобільних терміналів D2D та бездротовим живленням і з підтримкою протоколу ретрансляції з декодуванням та прямою передачею.

38. Функціонування комплексної єдиної схеми збору енергії для автономної системи спільного зв'язку з використанням мобільних терміналів D2D та оптимальним розподілення ресурсів.

39. Оцінка стану основного висхідного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією і вибір режиму роботи.

40. Ситуація 1: нормальний режим роботи мережі мобільного зв'язку 5G (див. малюнок 1,2).

Вихідні дані. Усі мобільні термінали D2D оснащені конденсаторами для тимчасового зберігання зібраної енергії у прийнятого сигналу. Збір енергії здійснюється протягом усього інтервалу часу, заданого в реле часу, без обмежень мінімального рівня потужності прийнятого сигналу. Для роботи в режимі одночасної передачі інформації та енергії використовувався протокол збирання енергії та кооперації (НТС) [595].

Передбачається, що кожен мобільний терміналів D2D має одну антену, як для збору енергії, так і обробки інформації. Всі мобільні термінали D2D забезпечують протокол декодування та прямої передачі для обробки інформації та протокол збору енергії та кооперації (НТС) для збору енергії, а також вони використовують зібрану енергію для сприяння передачі інформації.

В нормальному режимі роботи (наприклад, при $n=2$ див. малюнок 1) МТ абонента передає одночасно інформацію до базової станції трьома маршрутами: перший – МТ 6 абонента, БС 1 мережі (пряма лінія зв'язку); другий – МТ 6 абонента, мобільний 8 термінал D2D, БС 1 мережі; третій – МТ 6 абонента, мобільний 9 термінал D2D, БС 1 мережі. Радіочастотний сигнал від МТ 6

абонента з обмеженою потужністю приймається мобільними 8,9 терміналами D2D за допомогою приймальних антен направленої дії, регенерується і передаються у ефір передавачем мобільних терміналів D2D на БС 1 мережі мобільного зв'язку 5G. Переданий МТ 6 сигнал терагерцового діапазону по другому маршрутному з'єднанню, приймається мобільним 8 терміналом D2D, і спочатку використовується для збору енергії, потім використовується для обробки інформації протягом інтервалу часу $T/2$. Випрямляч у приймальних антенах із вбудованим випрямлячем випрямляє прийнятий РЧ сигнал і використовує вихідний постійний струм для заряджання конденсаторів. У моделі половина часу $T/2$ використовується МТ абонента для трансляції сигналу як на мобільні термінали 8,9 D2D, так і в приймальній пристрій БС мережі. Половина, що залишилася, використовується для передачі інформації між мобільними 8,9 терміналами D2D і приймальним пристроєм БС мережі. Протягом першого інтервалу часу невелика частина розділеного прийнятого сигналу використовується для збору енергії, частина сигналу, що залишилася, використовується для обробки інформації.

41. Ситуація 2: режим роботи мережі мобільного зв'язку 5G при динамічному блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль (див. малюнок 1).

При блокуванні під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль з'єднання МТ 6 абонента прямої видимості до базової 1 станції рухомими 12 перешкодами мобільний 6 термінал D2D прямої лінії зв'язку та мобільні термінали 8,9 допоміжних складових каналів зв'язку з'єднань напрямів 1 та 2 переводиться в режим забезпечення надійності та енергозбереження і проводиться відповідні зміни їх модуляцій, потужностей передавачів та кодування сигналів. Радіочастотний сигнал від МТ 6 абонента з обмеженою потужністю приймається мобільними 8,9 терміналами D2D за допомогою приймальних антен направленої дії, регенеруються і передаються у ефір передавачами мобільних терміналів D2D на БС 1 мережі мобільного зв'язку 5G по допоміжним складовим каналів зв'язку з'єднань напрямів 1 та 2.

42. Контроль стану заблокованого висхідного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією і вибір подальшого режиму роботи.

Для практичної реалізації способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю при використанні терагерцового діапазону частот запропоновано використання технології блокчейн і відповідний поділ архітектури віртуалізації частотно-часових та енергетичних ресурсів на окремі слайси (мережеві шари) для їх спільного використання кількома віртуальними лініями мобільного зв'язку оператора віртуальних бездротових мережевих шарів (MVMO). З технічного погляду блокчейн є децентралізована, постійна та прозора база даних. Концепція блокчейн заснована на архітектурі однорангової мережі, в якій інформація про транзакції контролюється всіма учасниками мережі, а не одним централізованим вузлом. Кожна транзакція блокчейн містить інформацію про зміну розподілу смуги пропускання між D2D терміналами; структури схеми блоку енергії та кооперації (НТС) та способу «розподілення потужності» і одночасної бездротової передачі інформації та енергії; потужності передавання в каналах та швидкість передавання даних, яку гарантує MVMO під час обслуговування своїх абонентів. Усі транзакції верифікуються та реєструються у блокчейн для забезпечення ефективного прозорого управління частотно-часовими та енергетичними ресурсами. Таким чином, розподілена схема на основі ланцюжка блоків надійно створює нові MVNO, не розкриваючи їх приватну інформацію широкому загалу.

Блокчейн використаний для створення надійних наскрізних мережевих слайсів, що дозволить їх провайдером керувати своїми ресурсами. Кожен слайс складається з основного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку) та декількох n ($n = 1, 2, 3, \dots$) допоміжних складових каналів зв'язку з'єднання напрямів n : МТ абонента – МТ $1 \dots n$ -- поточна базова станція мережі. Для гарантування безпечних транзакцій між віртуальним провайдером мережевих шарів та постачальником ресурсів для послуг 5G блокчейн використовується для створення механізму посередництва у мережевій секції. Блокчейн підтримує мікропроцеси конфігурації ресурсу з

використанням брокера шарів мережі 5G у промисловій автоматизації та в інтелектуальних мережах. Виробниче обладнання бездротової мережі самостійно орендує мережевий сегмент, необхідний для операцій на вимогу, затверджує угоду про рівень обслуговування (SLA) та сплачує плату за обслуговування на основі фактичного використання.

Один мобільний термінал одночасно може використовувати до N ($N=1-k$, де k – загальна кількість мережевих шарів) таких мережевих шарів. Особливістю тут є те, що модуль управління доступом і мобільністю AMF повинен бути єдиним (загальним) для всіх мережевих шарів, що обслуговують мобільних терміналів. Кожен мережевий шар характеризується інформацією S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information), а інформація декількох мережевих шарів S-NSSAI групуються у зведену інформацію про мережеві шари NSSAI – сукупність інформації мережевих шарів S-NSSAI мережі мобільного зв'язку з заданим ідентифікатором.

Для здійснення запропонованого рішення можуть бути використані стандартні та авторські розробки вузлів і компонентів приймально-передавальних систем (модулів) діапазону терагерцового діапазону частот [596,597], які побудовані з використанням технологій фотоніки та мікрохвильової електроніки, що дає також можливість запропонувати нові схемно-технологічні рішення створення в терагерцовому діапазоні. Крім того, для моніторингу просторово-енергетичних даних структури кластера мережі можна застосувати програмний додаток розроблений у програмному середовищі Matlab [598] з використанням пакету 5G Toolbox (програмний приклад «NR Positioning Using PRS»).

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.11.2

11.2 Триботехнічна властивість профілю шорсткості при деформуванні нерівностей у системі "колесо-рейка"

Збільшення обсягу перевезень вантажів на залізниці й підвищення маси вантажних вагонів, безперебійне виконання щільного графіка руху зажадали пошуку шляхів максимального використання тягових властивостей локомотивів при русі потягів з місця й при їхньому русі на найбільш важких ділянках шляху. У зв'язку із цим виникає потреба в технічно досяжнім поліпшенні коефіцієнта зчеплення коліс із рейками. Класичний підхід ґрунтується на вивченні механічної моделі контактної взаємодії при коченні твердих тіл із гладкими поверхнями. Розглянутий підхід не враховує вплив рідких і дисперсних середовищ, що перебувають у зоні торкання коліс із рейками. У цей час стійке зчеплення коліс локомотива з рейками забезпечується за рахунок застосування піску. Відомо, що його використання як середовища для підвищення зчеплення приводить до зростання швидкості абразивного зношування й іншим ушкодженням робочих поверхонь колеса й рейки внаслідок дроблення часток піску, забруднення верхньої будови колії, що приводить до зниження загальної надійності елементів рухомого складу.

Одним з можливих шляхів підвищення величини й стабільності коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою, є введення в зону фрикційного контакту спеціального фрикційного змащення (або модифікатора тертя), здатного при збереженні досить високого значення коефіцієнта зчеплення зменшити пошкоджуваність коліс і рейок. Кочення колеса по рейці із проковзуванням (від 0 до 100 %) викликає в основному два процеси руйнування: об'ємну пластичну деформацію (зняття) і абразивне зношування. Об'ємна пластична деформація нерівномірна по глибині від поверхні катання, досягає найбільших величин безпосередньо в поверхні й зменшується в міру видалення від неї. Тиск у контакті «колесо-рейка» у реальних умовах експлуатації змінюється від $1,7 s$ (s - границя текучості колісної й рейкової сталі) до $3s$ і більш. Результатом пластичної деформації є плин металу із зони гребеня на поверхню кочення й на вершину гребеня. У ході пластичної деформації починають протікати процеси

стирання, що включають у себе: мікрозріз, схоплювання, утворення втомленісних тріщин тощо. Зменшення впливу пластичної деформації на процеси стирання в умовах експлуатації можливо за рахунок регулювання властивостей мікроструктури колісної й рейкової сталі, яке можна здійснити за рахунок термічної обробки сталі. Таким чином, на найважливішу механічну характеристику колісних і рейкових сталей, що відповідають не тільки за міцнісними властивості, але й триботехнічні – співвідношення значень твердості в системі « колесо-рейка». Для передачі крутного моменту й забезпечення зчеплення колеса з рейкою необхідне впровадження колеса в опорну поверхню рейки. При цьому, для забезпечення протікання нормального зношування в системі «колесо-рейка» із проковзуванням до 10 %, співвідношення твердостей повинне становити як мінімум 1,2:1, тобто при твердості колеса на 20 % перевищуючої твердість рейки. Однак з переходом наприкінці 50-х років на об'ємно-загартовані рейки, співвідношення в парі « колесо-рейка» було порушено й становить сьогодні 1:1,4, що приводить до погіршення зчеплення, збільшує проковзування й викликає інтенсивне зношування колісних пар. На основі аналізу світового досвіду й експериментальних робіт можна зробити висновок: збільшення твердості колеса на 1 НВ в експлуатаційному інтервалі твердостей збільшує їхню зносостійкість на 1-2 %. Крім того, збільшення твердості коліс від 250 до 600 НВ практично не впливає на зношування й контактну довговічність рейки, а довговічність коліс зростає пропорційно квадрату збільшення їх твердості.

Поверхневий шар у трибосистемі «колесо-рейка» у реальних умовах експлуатації, особливо гребені й бічні поверхні рейки, упрочнюється. Причому, глибина фрикційного шару досягає 0,01-0,03 мм, а збільшення твердості на поверхні - від 220 до 1200 HV_{0,1} (нижній індекс – навантаження на индентор, кгс). Механізм зміцнення фрикційного шару більш складний, чим просто його наклеп або загартування з фазовими перетвореннями, хоча високі контактні навантаження до 1000-1500 МПа й високі температури до 1000°C існують у малих обсягах фактичного контакту «колесо-рейка». Однак вони існують

протягом тисячних часток секунди. Тому вірніше говорити не про нагрівання або наклеп поверхневого шару, а про його високу енергонасиченість. При такій щільності енергії метал у шарі тече аморфно, як рідке скло. Цей механізм деформування, на думку, можна визначити як бездифузійне недислокаційне високоенергетичне аморфне зрушення. Після виходу із зони тертя метал у смугі ковзання миттєво проохолоджується, зберігаючи при цьому аморфну структуру металевого скла із твердістю 800 HV і більш. Таким чином, з короткого аналізу видно, що підвищення зносотійкості пари тертя « колесо-рейка» - складний багатофакторний процес, що вимагає комплексного підходу. У той же час, першим і природнім кроком до розв'язку цієї проблеми є дослідження їх контактної взаємодії. Дослідження в області контактної взаємодії, вивчення фізико-хімічних і фрикційних характеристик поверхневих шарів системи "колесо-рейка", а також розробка методів підвищення величини й стабільності коефіцієнта зчеплення в цьому зв'язку представляються актуальними й перспективними. Мало вивченими є питання, пов'язані із впливом зовнішніх фізичних полів, вплив мікронерівностей на триботехнічні характеристики пар тертя. Для задач триботехніки використання методів математичного моделювання при правильному та об'єктивному підході до узагальнення результатів з оцінкою їх достовірності та точності дозволяють значно прискорити впровадження нових технічних рішень і скоротити трудові витрати та витрати дефіцитних матеріалів. З різноманітних вузлів триботехнічного призначення, які використовують у загальному машинобудуванні, найбільш масовими та відповідальними є вузли ковзання, вони ж і узагальнюють поняття трибологічних спряжень взагалі. Аналіз інформації, присвяченої моделюванню, показав, що створення розрахунково-експериментальних методів визначення триботехнічних характеристик спряжень стало назрілою необхідністю. Первинною проблемою при вивченні тертя є контактування дотичних поверхонь. У поняття контактування входить взаємодія поверхонь, що належать твердим тілам, під дією відносного зсуву й стискаючих сил з урахуванням їх відхилення від ідеальної форми й впливу середовища (гази й мастильні

матеріали), що є у зоні контакту. Оскільки поверхні деталей мають шорсткість і хвилястість, що обумовлені технологічною обробкою, а також тертям і зношуванням, то контакт деталей, що сполучаються, є дискретним і площа торкання становить незначну частину від номінальної площі. Усі реальні деталі мають контакт поверхонь на площі, яка становить усього 5-10% і лише іноді доходить до 25% від номінальної. Подальший розвиток теорії контактної взаємодії поверхонь тертя дозволить управляти процесами фрикційної взаємодії деталей стосовно до конкретних умов їх роботи, передбачити величину зношування, а також підвищити їхню зносостійкість. Внесок у вивчення структури й властивостей поверхневих шарів і побудови моделей фрикційного контакту внесли роботи Л.М. Рибаквої [599], Д. Ригни [600], В.І. Владимірова [601] і ін. В останні роки активно розвивається підхід до дослідження деформаційних процесів у поверхневих шарах, заснований на концепції структурних рівнів деформації й руйнування твердих тіл академіка В.Е. Паніна [602], а також на розумінні в рамках цієї концепції особливої ролі поверхні й поверхневих шарів у зародженні й розвитку пластичної деформації.

Незважаючи на постійний розвиток експериментальних методів матеріалознавства, зона тертя й особливо зона фактичного контакту залишаються важкодоступними для дослідження безпосередньо в процесі випробування. Звичайно інформація, одержувана під час експерименту, обмежується величиною коефіцієнта тертя, температурою на деякій відстані від поверхні й іноді на самій поверхні. При деяких видах випробувань на тертя можна також вимірювати лінійне зношування по зміні розміру зразка. Усі інші дані - про структурний і фазовий склад, зміну фізико-механічних властивостей матеріалу, ступені деформації, хімічних перетвореннях приповерхніх шарів, явищах переносу й механічного перемішування, як правило, можуть бути отримані тільки після завершення експерименту або в який-небудь проміжний момент після зупинки випробування. У цьому випадку дослідник спостерігає лише наслідки явищ і процесів, що протікали в трибосистемі. Крім того, деякі процеси, які йдуть безпосередньо в момент випробування й для протікання яких

необхідна висока температура, більші напруження й деформації можуть взагалі залишитися непоміченими, тому що в момент спостереження відсутні умови для їхнього протікання. І, навпаки, у ряді випадків після закінчення експерименту в трибосопряженні виявляються зміни, які відбулися не в процесі самого випробування, а з'явилися лише наслідком його припинення. Очевидним виходом з описаної ситуації може стати комп'ютерне моделювання процесів тертя й зношування. Результати, отримані в процесі чисельного аналізу, можуть скласти основу прогнозування поведінки матеріалів при контактних взаємодіях і забезпечити надалі вдосконалювання триботехнічних матеріалів. Можна зробити висновок, що при дослідженні пружного контактування трибосопряжень необхідно мати чітке уявлення про геометрію кривих, що мають місце у цьому процесі. У даній роботі є викладення матеріалу з розроблення методики задавання геометрії трибосопряження при числовому дослідженні його напружено-деформованого стану з урахуванням зміни геометрії за рахунок пластичного деформування нерівностей при обробці.

Напружений стан у зоні фактичного торкання тіл характеризується деформацією мікронерівностей поверхонь, а також пружними або пластичними деформаціями. Таким чином, поверхневий шар можна розглядати як деформівне, геометрично нелінійне тверде тіло [603]. При оцінці взаємодії контактуючих твердих тіл мікронерівності реальної поверхні моделюють у вигляді однакового розміру тіл правильної геометричної форми, що розташовані на деякій основі й розподілені за певною залежністю по висоті. При аналізі кривої опорної поверхні, як правило, не враховують процесів деформування мікронерівностей [603]. Однак насправді їх величина в процесі багаторазових контактних взаємодій може значно відрізнятися від їхніх вихідних значень. Виходячи із цього впливає завдання розрахунків зміни вихідних параметрів шорсткості контактуючих поверхонь після додавання навантаження. Однак їх аналіз при зміні фізико-геометричних параметрів трибосопряження викликає значні труднощі обчислювального характеру. Це спонукає до створення сучасних методів числового аналізу поверхонь тертя,

що дозволять алгоритмічно визначати необхідні параметри напружено-деформованого стану поверхонь тертя в залежності, зокрема, і від параметрів шорсткості.

Розглянемо визначення параметрів шорсткості при контактуванні робочих поверхонь. Нехай висотні характеристики взаємодіючої поверхні настільки малі, що ними можна зневажити [604]. У цьому випадку сформовану поверхню можна розглядати як поверхню з масляними кишнями, сформовану методом пластичного деформування при зміцнювальній обробці, а параметрами шорсткості між масляними кишнями зневажити [601]. Позначимо величини шорсткості, прийняті за ГОСТ 2789-73 для вихідної шорсткості опорної поверхні $R_a, R_p, R_z, R_{max}, S_m, t_p$; поверхні взаємодії $R_{a1}, R_{p1}, R_{z1}, R_{max1}, S_{m1}, t_{p1}$; знову сформованого профілю $R_a^f, R_p^f, R_z^f, R_{max}^f, S_m^f, t_p^f$. Виділимо елементарну поверхню, що має ширину, що дорівнює кроку поздовжньої, а довжину - кроку поперечної шорсткості

$$S_m^{поз} = \frac{l_{поз}}{n_{поз}}, \quad S_m^{поп} = \frac{l_{поп}}{n_{поп}} \quad (1)$$

де $l_{поз}, l_{поп}$ - базова довжина, відповідно, у поздовжньому й поперечному напрямках; $n_{поз}, n_{поп}$ - кількість виступів, відповідно, у поздовжньому й поперечному напрямках. Обсяг масляних кишень займаної поверхні рівний [604]

$$V_{м.к.} = A_H R_p^f \left(\frac{t_0}{100} \right), \quad (2)$$

де A_H - номінальна площа поверхні без урахування масляних кишень; t_0 - відносна площа, що займана масляними кишнями при зміцнювальній обробці, визначеною з рівняння [604]

$$t_0 = 50 \left(\frac{R_{max} - Y}{R_{max} - R_p} \right)^{\left(5 - \frac{R_p}{R_a} \right)}, \quad (3)$$

де Y - відстань від лінії виступів до розглянутого профілю.

Вихідна шорсткість найбільш близько моделюється у вигляді еліптичного параболоїда, обсяг якого рівний

$$V_1 = 0,5 \pi a c R_{\max} . \quad (4)$$

Вважаючи, що в результаті деформації взаємодіяв увесь елементарний об'єм, можна записати рівняння для визначення об'єму западини

$$V_{\text{зан}} = V_2 - V_1 - V_3, \quad V_2 = 4ac(R_{\max} - Y), \quad V_3 = \frac{V_H \int_0^Y F(h) dh}{V_1} . \quad (5)$$

Максимальна величина знову сформованого профілю рівна

$$R_{\max}^f = R_{\max} - Y . \quad (6)$$

Величини R_a^f і R_z^f з достатньою точністю можна визначити із співвідношень [604]:

$$R_a^f = 0,2 R_{\max}, \quad R_z^f = 0,87 R_{\max} . \quad (7)$$

Відносну довжину опорної лінії профілю шорсткості на будь-якому рівні визначають залежністю [601]:

$$t_p^f = 100 - 45 \left(\frac{R_{\max}^f - Y}{R_{\max}^f - R_p^f} \right)^{\left(4,5 - 0,9 \frac{R_p^f}{R_a^f} \right)} . \quad (8)$$

Зміна кроку відбувається за рахунок того, що при формуванні нового профілю змінюється положення рівня середньої лінії. Цей рівень можна провести на вихідному профілі, відступивши від вершини максимально виступаючої нерівності на величину

$$e^f = R_{\max} - Y - R_p^f . \quad (9)$$

Враховуючи, що в еліптичному параболоїді параметри S_m^f і a^f рівні, величина t_p прийме значення

$$t_p = 100 - t_m \left(\frac{R_{\max} - Y - R_p^f}{R_{\max} - R_p} \right)^{\frac{50R_z - t_m R_a}{50R_a}}. \quad (10)$$

Після виконання перетворень можна одержати вираження для визначення середнього кроку нерівностей знову сформованого профілю

$$S_m^f = 2S_m \frac{t_m}{t_m^f} \left[1 - \frac{t_m}{100} \left(\frac{R_{\max} - Y - R_p^f}{R_{\max} - R_p} \right)^{\frac{50R_z - t_m R_a}{50R_a}} \right]. \quad (12)$$

Таким чином, використовуючи отримані залежності, на підставі розрахункових значень пластичних деформацій, обумовлених з теорії контактної взаємодії, з'являється можливість прогнозування параметрів шорсткості після одного або декількох навантажень. На відміну від змодельованого об'єму при стиску реальної шорсткості в початковий період не відбувається пластичного деформування основного матеріалу, а після настання насичення відсутнє деформування шорсткості й відбувається деформування лише основного матеріалу.

Для числової реалізації запропонованого аналізу шорсткості поверхонь тертя використовується алгоритм, що описаний в [605]. За цим алгоритмом можливий розв'язок великої різноманітності трибологічних задач, які можуть описувати нелінійне просторове деформування пружного твердого тіла, визначати втрату стійкості фізичного процесу, будувати рівноважні стани після бифуркаційної втрати стійкості. При цьому може бути прикладений довільний вектор статичних або квазістатичних зосереджених, розподілених або моментних навантажень, які як завгодно можуть бути розташовані постійно або дискретно в площині або в просторі. Крім того, дія цих сил може

бути прикладена або знята в процесі деформування. У якості результату можуть бути отримані характеристики напружено-деформованого стану мікронерівностей, їх вплив на процес тертя й зношування об'єкта. Геометрична форма контактуючих поверхонь може бути задана або аналітично, або за допомогою чисельної функції, яка визначається обчислювальними методами.

Докладно метод описано в [605]. Коротко про запропонований метод. Математична модель базується на відомих підходах Лагранжа й Ейлера, які описують рівновагу й пружне деформування елемента, його зовнішню й внутрішню геометрію. На підставі цих передумов сформована система розв'язальних рівнянь 18 порядку, які в загальному випадку є нелінійними і описують просторове деформування елемента. Методика чисельного розв'язку системи рівнянь заснована на спільноу використанні методу продовження по параметру і методу Ньютона-Канторовича. Практична реалізація методу здійснюється у вигляді програм розрахунків на ПЕОМ. При цьому час рахунку залежно від складності задачі не перевищує 2-5 хв. для ПЕОМ із оперативною пам'яттю 16Гб і частотою процесора 2800 МГц. Для верифікації методу проведено ряд експериментів, що показують високий збіг результатів чисельних розрахунків і експерименту. Практичне використання обчислювального алгоритму встановило ряд переваг у порівнянні з відомими засобами реалізації інших методів аналогічного призначення. До них можна віднести високу швидкість збіжності чисельних розв'язків у поєднанні із швидкодіючими алгоритмами розв'язку систем рівнянь, які дозволяють розв'язувати принципово нові задачі і значно скорочувати час розрахунків, а також підвищувати ефективність використання ПЕОМ. Для дослідження опорних поверхонь трибоспряжень необхідно в першу чергу отримати геометрію об'єкта в агрегатному або в локальному стані. Якщо вважати, що в початковому стані досліджуваний елемент перебуває в рівновазі, то внаслідок додавання навантажень він деформується, приймаючи просторову форму поздовжньої осі, яка значно відрізняється від первинної. При цьому як початкова, так і деформована геометрія поздовжньої осі елемента може значно відрізнятись від

передбачуваної окружності, тобто – це ще не еліпс, але вже й не окружність. Таким чином, опорну поверхню можна розглядати як деформівне, геометрично нелінійне тверде тіло. При цьому геометрією поверхні може бути як окружність, так і деяка інша форма кривої, наприклад, еліпс із незначним співвідношенням осей і т.п., яка виникла внаслідок зношування поверхонь тертя або обумовлена технологічними параметрами. Процеси, що виникають у контактних поверхнях трибоспряження можуть бути відображені на екрані дисплея у реальному часі та одержані у графічному вигляді графіками, таблицями або рисунками. Застосовуючи запропоновану методику, можна без значної перебудови обчислювальних алгоритмів міняти характер дії навантажень, одержувати необхідні параметри напружено-деформованого стану трибоспряжень в залежності від змінюваної за рахунок деформації геометрії контактних поверхонь. При деяких раптово виникаючих умовах навантаження (наприклад, при додатку будь-якого навантаження, втраті стійкості, зміні жорсткості унаслідок зносу тощо) можна припинити розв'язок і після зміни певних параметрів задачі відновити його знову, починаючи з перерваного кроку. Простота використання, наочність, швидкість отримання результатів роблять методику зручною для використання інженерами при розрахунках і в технологічних операціях.

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.11.3

11.3 Характеристика митних процедур у міжнародних вантажних перевезеннях

Порядок здійснення митного контролю й митного оформлення розроблено відповідно до Митного кодексу України, Положення про вантажну митну декларацію, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 09.06.97 N 574 (зі змінами та доповненнями), і з метою спрощення та оптимізації порядку митного контролю й митного оформлення товарів із застосуванням вантажної митної декларації (далі - ВМД). Цей Порядок застосовується при здійсненні митного контролю й митного оформлення товарів у всіх митних режимах [606. с.123].

Посадові особи підрозділу по боротьбі з контрабандою та порушеннями митних правил та/або митної варти митного органу залучаються до проведення митного контролю за наявності в митного органу інформації (орієнтування) про незаконне переміщення товарів або при виявленні під час перевірки документів чи вибіркового митного огляду ознак, що вказують на можливість переміщення товарів з порушеннями митного законодавства України.

Декларант подає документи митному органу та одержує оформлені документи особисто. Присутність декларанта при проведенні митного огляду обов'язкова. ВМД, подана митному органу, але ще не прийнята до оформлення (відсутні відбиток штампа "Під митним контролем" (далі - штамп ПМК) і реєстраційний номер), може бути відкликана декларантом з дозволу митного органу. З моменту прийняття ВМД до оформлення декларант несе юридичну відповідальність за недостовірність відомостей, зазначених у ВМД. Ця ВМД не може бути відкликана декларантом.

Оформлена ВМД свідчить про надання суб'єкту зовнішньоекономічної діяльності (далі - суб'єкт ЗЕД) права на розміщення товарів у заявлений митний режим і підтверджує права й обов'язки зазначених у ВМД осіб щодо здійснення ними відповідних правових, фінансових, господарських та інших дій.

Документи, що застосовуються при здійсненні митних процедур

Для здійснення митного контролю й митного оформлення товарів декларант подає до підрозділу митного органу, посадові особи якого здійснюють митний контроль і митне оформлення товарів із застосуванням ВМД і пропуск їх через митний кордон України (далі - ПМО), ВМД, заповнену згідно з обраним митним режимом, її електронну копію й повний комплект документів, необхідних для здійснення митного оформлення товарів: а) документи, що підтверджують повноваження декларанта на декларування товарів; б) товаросупровідні документи; в) дозволи й сертифікати вповноважених державних органів (у встановлених законодавством випадках) та інші документи, зазначені в графі 44 ВМД; г) документи, зазначені в графі 40 ВМД; г) декларацію митної вартості (далі - ДМВ) (у встановлених законодавством випадках) та її електронну копію; д) документи, що підтверджують заявлені декларантом відомості про митну вартість товарів [607, с.97].

На вимогу митного органу декларантом подаються й інші документи, потрібні для здійснення митного контролю та митного оформлення, подання яких визначено законодавством України. Копії поданих до оформлення документів засвідчуються написом "Копія. Згідно з оригіналом", підписом і печаткою декларанта.

Якщо документ є довгостроковим і його використання для цілей митного контролю й митного оформлення не припиняється після митного оформлення першої партії товарів, то при декларуванні першої партії товарів декларант може подати митному органу додаткову копію документа для зберігання її в окремій справі суб'єкта ЗЕД у ПМО.

На вимогу митного органу декларантом надається переклад на державну мову поданих до оформлення документів. Правильність перекладу засвідчується особою, що здійснила переклад.

По закінченні оформлення документи (завірені в установленому порядку їх копії), що були підставою для митного оформлення конкретної партії

товарів, залишаються разом з першим основним аркушем ВМД на зберіганні в митному органі.

Здійснення митних процедур

ВМД, її електронна копія й документи, потрібні для здійснення митного контролю й митного оформлення, подаються декларантом посадовій особі ПМО, до функціональних обов'язків якої віднесено право розподілу ВМД між посадовими особами ПМО. Визначення посадової особи ПМО для прийняття ВМД до оформлення відображається в розділі I Інформаційного аркуша митного контролю товарів за ВМД (далі - Інформаційний аркуш), форму якого наведено в додатку 1 до цього Порядку. Інформаційний аркуш виготовляється митним органом. Час подання ВМД, заповненої згідно з обраним митним режимом, її електронної копії та комплекту документів фіксується у відривному талоні Інформаційного аркуша, який видається декларанту.

Прийняття ВМД до оформлення

При цьому здійснюються: 1) перевірка повноважень декларанта; 2) перевірка дотримання строків подання ВМД митному органу призначення; 3) перевірка виконання особою, що здійснює перевезення, зобов'язання щодо доставки товарів у митний орган призначення; 4) перевірка наявності вірусів на магнітному носії; 5) за домогою програмного забезпечення перевірка правильності заповнення декларантом ВМД; 6) перевірка відповідності відомостей, унесених до всіх граф електронної копії ВМД, відомостям, що містяться у відповідних графах ВМД на паперовому носії; 7) перевірка комплектності отриманих від декларанта документів і їх відповідності даним, зазначеним у графах 40 і 44 ВМД; 8) перевірка наявності документів, що видаються вповноваженими органами державної влади на окремі товари, щодо переміщення яких через митний кордон України встановлено обмеження, з урахуванням заявленого декларантом коду вантажу згідно з товарною номенклатурою Митного тарифу України; 9) перевірка наявності фактів застосування до суб'єкта ЗЕД і/або іноземного суб'єкта господарської діяльності санкцій Міністерства економіки України, а також фактів порушення

суб'єктом ЗЕД митних правил; 10) перевірка відповідності зазначених у ВМД даних про товари даним, зазначеним у дозвільних документах уповноважених державних органів, що підтверджують проведення інших видів контролю, якщо товари підлягають цим видам контролю (у встановлених законодавством випадках перевірка наявності відповідних відміток у товаросупровідних документах); 11) прийняття ВМД до оформлення шляхом; 12) унесення до електронної копії ВМД її реєстраційного номера, номера штампа ПМК, а також електронних копій ВМД і ДМВ (за наявності) до бази даних митного органу; 13) надсилання електронної копії ВМД до Єдиної автоматизованої інформаційної системи Держмитслужби України (далі ЄАІС) у випадках і в строки, визначені законодавством України.

Митний контроль

При цьому здійснюються: 1) перевірка правильності застосування валютного курсу; 2) перевірка відповідності даних про банківські реквізити підприємства, зазначених в електронній копії ВМД, даним, які містяться в поданих документах і в переліку вповноважених банків України, що надсилається Держмитслужбою України митним органам; 3) перевірка наявності задекларованих товарів у реєстрі товарів, що містять об'єкти інтелектуальної власності, який ведеться Держмитслужбою України; 4) перевірка правильності класифікації та кодування товарів (згідно з поданими документами); 5) перевірка правильності визначення митної вартості товарів. За наявності ДМВ - зазначення в ній у встановленому порядку рішення, прийнятого за результатами такої перевірки; 5) за відсутності зауважень: списання (справляння) сум податків і зборів (обов'язкових платежів) у порядку, установленому законодавством України; унесення відомостей до електронної копії ВМД; 6) ініціювання проведення митного огляду, якщо документів, поданих декларантом, недостатньо для прийняття рішення про повноту та/або достовірність відомостей, що перевіряються, або результати перевірки правильності класифікації та кодування товарів, визначення країни походження тощо потребують проведення такого огляду.

Якщо посадова особа ПМО самостійно прийняла рішення про відсутність потреби в проведенні митного огляду, то ВМД і пакет документів не подаються на розгляд начальнику ПМО чи іншій посадовій особі ПМО, яка має право приймати рішення про потребу проведення митного огляду, розділи II, III і IV Інформаційного аркуша не заповнюються.

В інших випадках рішення про потребу проведення митного огляду приймає начальник ПМО чи інша посадова особа ПМО, яка має право приймати рішення про потребу проведення митного огляду, про що вчиняє відповідний запис у розділі III Інформаційного аркуша. Запис засвідчується його особистим підписом із зазначенням посади, дати, ініціалів, прізвища.

Наявність задекларованих товарів у реєстрі товарів, що містять об'єкти інтелектуальної власності, є підставою для залучення до митного огляду посадової особи, яка здійснює контроль за переміщенням товарів, що містять об'єкти інтелектуальної власності.

Акт про проведення митного огляду товарів, що переміщуються за ВМД, форму якого наведено в додатку 2 до цього Порядку, обов'язково складається в разі: вирішення спірних і складних питань класифікації та кодування товарів; вирішення спірних і складних питань визначення митної вартості товарів

Наведемо схему порядку митного оформлення товарів у визначеному митному режимі (рис.1).



Рисунок 1. Схема порядку митного оформлення товарів у визначеному митному режимі

При цьому здійснюються: нарахування збору за митне оформлення товарів у зонах митного контролю на територіях і в приміщеннях підприємств,

що зберігають такі товари, чи поза робочим часом, установленим для митного органу (у разі здійснення такого оформлення); доповнення записів ВМД; списання (справляння) збору за митне оформлення товарів у зонах митного контролю на територіях і в приміщеннях підприємств, що зберігають такі товари, чи поза робочим часом, установленим для митного органу (у разі здійснення такого оформлення).

Завершення митного оформлення шляхом: проставлення своїх підпису й прізвища та відбитка особистої номерної печатки в графі D усіх аркушів ВМД; проставлення відбитка особистої номерної печатки на товаросупровідних документах; розподіл аркушів ВМД і примірників ДМВ у порядку, установленому законодавством України; видача декларанту відповідного аркуша (аркушів) ВМД, магнітного носія з електронною копією ВМД і комплекту документів (крім документів, що повинні зберігатися в митному органі) під його підпис в Інформаційному аркуші.

Прикінцеві положення

Допускаються виготовлення та використання митними органами допоміжних штампів, що мають інформативний характер і зручні під час здійснення митного контролю й митного оформлення товарів відповідно до цього Порядку. Номерні штампи, використання яких передбачено цим Порядком, закріплюються за посадовими особами наказом митного органу. За наявності достатніх підстав уважати, що товари переміщуються через митний кордон України з порушенням прав інтелектуальної власності, митне оформлення цих товарів призупиняється у випадках і в порядку, визначених законодавством.

За наявності достатніх підстав, установлених законодавством України, посадова особа митного органу може відмовити в прийнятті ВМД, митному оформленні чи пропуску товарів і транспортних засобів.

У сучасних умовах економічного розвитку України, розширення зовнішньоекономічних зв'язків особливого значення набуває митна справа, основу якої складає митне законодавство. Останнє визначає принципи

організації митної справи в Україні з метою, з одного боку, створення сприятливих умов для розвитку економіки, зовнішньоекономічних зв'язків, а з іншого – захисту та забезпечення конституційних прав і свобод громадян, держави, суб'єктів підприємницької діяльності всіх форм власності і додержання ними правил, встановлених у цій галузі.

Митне законодавство України спрямоване на вирішення таких завдань: забезпечення організації та функціонування єдиної, узгодженої, стабільної митної системи, закріплення правових механізмів взаємодії всіх її елементів; визначення загальних принципів регулювання митних відносин; захист економічних інтересів України, забезпечення виконання зобов'язань, що випливають з міжнародних договорів України стосовно митної справи; встановлення правових норм, які б забезпечували захист інтересів споживачів і додержання учасниками зовнішньоекономічних зв'язків державних інтересів на зовнішньому ринку; створення умов для ефективної боротьби з контрабандою та порушеннями митних правил, контролю за валютними операціями; підвищення рівня організаційних і правових гарантій суб'єктів митних відносин, удосконалення системи їх відповідальності.

Адаптація митного законодавства України є пріоритетною сферою, яка визначена у ст. 51 Угоди про партнерство і співробітництво між Україною і Європейськими співтовариствами та їх державами-членами. З метою правильного і однакового застосування законодавства України з питань митної справи, необхідно впорядкувати нормотворчість митних органів щодо вдосконалення нормативно-правової бази, необхідної для забезпечення діяльності митної служби відповідно до вимог Європейського Союзу, СОТ та міжнародних норм.

Митно-тарифні норми, які є складовими формування правового механізму функціонування підприємств у сфері зовнішніх зв'язків, можуть мати як спеціальний, так і загальний характер. Те саме стосується нормативних документів, хоча в актах загального характеру трапляються й окремі норми, спеціально розраховані на митно-тарифні відносини. Загалом нормативні акти,

які регулюють даний вид взаємовідносин, можна умовно розділити на чотири групи:

1. Першу становлять правові норми загального характеру: Декларація про державний суверенітет України, яка започаткувала правову норму про самостійне створення Україною власної митної системи (розд. VI) та Конституція України, якою регламентуються положення щодо захисту суверенітету і територіальної цілісності України, забезпечення її економічної та інформаційної безпеки (ст. 17) і встановлюється конституційна норма, згідно з якою засади зовнішніх відносин, зовнішньоекономічної діяльності, митної системи визначаються винятково законами України (ст. 92, п. 9) [608, с.203].

2. До другої належать акти, в яких закріплені основні принципи організації і напрями здійснення митно-тарифної політики України. Насамперед це Закон України «Про зовнішньоекономічну діяльність» ст. 13 та Митний кодекс України. Дані нормативні документи визначають основні правові засади функціонування митної системи України, головні напрямки митної політики країни; систему органів державного регулювання митної справи. Так, Митний кодекс регулює діяльність служб митного контролю, їх права та обов'язки, порядок митного контролю, організацію митної служби та інші близькі за характером питання, такі як розподіл функцій законодавчої та виконавчої влади в митній галузі [608, с. 254].

3. Основу третьої групи становлять акти, що складаються із систематизованих норм, котрі регулюють окремий напрям митних відносин. Зокрема Закон України «Про єдиний митний тариф», який практично регламентує тарифну політику в Україні. Ним визначається порядок, методологія тарифного оподаткування та пов'язані з цим дії суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності. До даної групи належать також постанови та розпорядження КМУ з питань організації та забезпечення митної справи: здійснення загального керівництва митною справою; встановлення розмірів мита, митних зборів і плати за митні процедури; координація діяльності міністерств, державних комітетів і відомств України в галузі митної справи.

4. Четверта група – це акти щодо регулювання поточних операцій у сфері митно-тарифних відносин. Це найбільш чисельна група нормативних документів, які регламентують широке коло відносин, – постанови, інструктивні листи, накази, які приймаються і видаються в першу чергу Державною митною службою України з питань митно-тарифного регулювання зовнішньоекономічної діяльності, а також спільні акти ДМСУ та інших центральних, місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування, які видаються на підставі п. 8 Положення про ДМСУ. Запропонована класифікація законодавчих актів дозволяє чітко розмежувати сфери дії даних нормативних документів. Однак слід зазначити, що українська правова база загалом і митне законодавство зокрема дуже відрізняються від загальних правил ЄС (вітчизняне законодавство відповідає лише 300 - 400 із 10 000 митних стандартів ЄС). Адаптація митного законодавства України до визнаних міжнародних стандартів і норм відбувається досить повільно. На практиці ці норми й вимоги в Україні запроваджуються без офіційного приєднання до відповідних міжнародних конвенцій, прийнятих під егідою Ради митної співпраці.

11.4 Напружено – деформований стан основ гребель із ґрунтового матеріалу з трапецеїдальним поперечним профілем

В даний час ґрунтові греблі використовують для комунікацій та виробництва електричної енергії. Крім того, їх використовують для потреб сільського господарства (наприклад, для влаштування водосховищ). Однак, при проектуванні ґрунтових гребель на основах, складених слабкими ґрунтами, іноді виникають такі проблеми:

1. Іноді осідання гребель мають один порядок з їхньою висотою [609, 610, 611]. У цьому треба знати осідання основи греблі не тільки в її центрі, а й осідання характерних точок по всій її підшві. Це важливо задля досягнення відповідності профілю греблі її проектного стану з урахуванням деформацій основи.

2. Складені слабкими ґрунтами основи ґрунтових гребель мають низьку міцність. Тому треба мати можливість оцінювати міцність ґрунтових основ ґрунтових гребель. Цю оцінку можна здійснити лише в тому випадку, коли відомі властивості ґрунту і діючі у основі напруження [609, 610, 611, 612].

3. Профіль ґрунтових гребель зазвичай має трапецеїдальну форму. Крім того, зазвичай гребля включає елементи з різною питомою вагою (зазвичай це ґрунт тіла греблі та її ядро) [611, 612, 613, 614, 615]. Тому навантаження на основу відрізняється від представлених на рис. 1 та 2. Також в [609, 611, 612] коефіцієнт загасання додаткових напружень по глибині (з його використанням розраховують вертикальні нормальні напруження по глибині основи) дано в табличній формі лише для навантаження, що має форму прямокутника (в

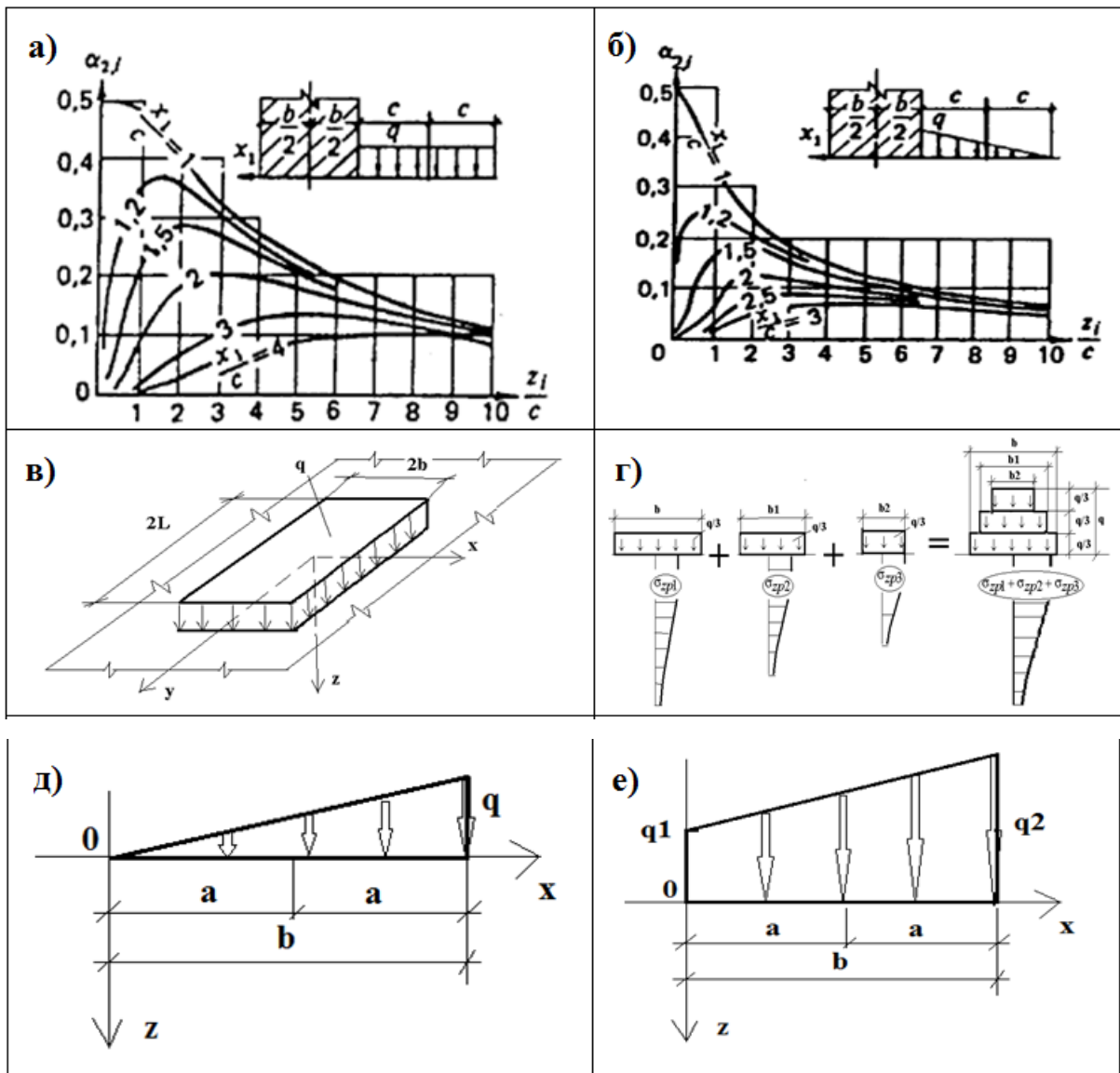


Рис. 1. Наведені в нормативних документах та технічній літературі види навантажень, які використовуються для визначення напружень у ґрунтових основах: а) та б) – навантаження на основу, що розглядаються в [611, 612]; в) – те ж саме, в [609, 610]; д) та е) - те ж, в [618].

аналітичній формі в нормативних документах ці дані також не представлені). У діючих нині біля України та інших країн будівельних нормах щодо обліку зазначених чинників з цього приводу є дуже загальні і приблизні вказівки [609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616]. Аналогічна картина має місце й у присвяченій даній проблемі науковій та технічній літературі [617, 618]. Викладені в цьому пункті (тобто у п. 3) тези дозволили нам зробити висновок про те, що

використання будівельних норм, що діють на території України, призводить до недостатньо точного обліку діючих у основі напружень від ваги греблі.

4. Останнім часом широкого поширення набуло використання для прогнозу напружено – деформованого стану ґрунтових основ методу кінцевих елементів [619, 620]. Проте, у цьому випадку на результати розрахунку істотно впливають розміри розрахункової області основи. Оскільки в нормативних документах України на цей рахунок відсутні будь-які вказівки, отримані в ході прогнозу напружено-деформованого стану основ ґрунтових гребель дані потребують перевірки та, при необхідності, коригування.

Тому при написанні цієї монографії ми мали на меті знайти вирішення зазначених проблем шляхом побудови точних аналітичних залежностей напружень від координат і прикладеної до верхньої межі основи трапецеїдального зовнішнього навантаження.

В даний час для визначення напружено - деформованого стану основ ґрунтових гребель використовують такі види навантаження, (рис. 1), використання яких для розв'язання зазначеної нами проблеми не завжди можливе. Тому задачу досліджень було сформульовано так:

1. Розглядається не вигідний випадок напружено - деформованого стану основи - гребля з ґрунтового матеріалу, довжина якої значно більша за її ширину і висоту (рис. 2).

2. Поперечний профіль греблі має вигляд трапеції. При цьому в межах греблі можуть бути матеріали з різною питомою вагою (наприклад, ядро і тіло греблі).

3. Тиск від ваги греблі на основу дорівнює добутку питомої ваги її матеріалу на висоту, рівну відстані від подошви греблі до денної поверхні греблі по вертикалі.

Необхідно:

1. У рамках моделі лінійної пружної ізотропного середовища, умов плоскої деформації та представленого на рис. 2 навантаження отримати необхідні

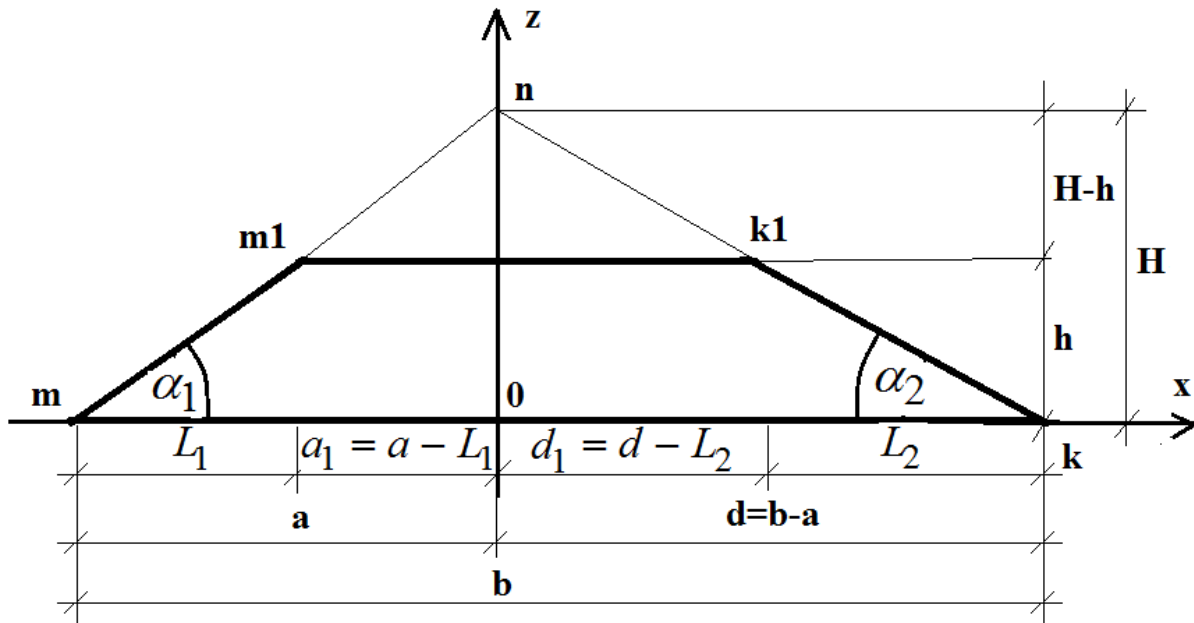


Рис. 2. До визначення геометричних розмірів ґрунтової гребель та навантаження на основу від її ваги.

Примітки:

1. Жирними лініями позначений контур платини, а тонкими – допоміжні побудови.

2. На рис. прийняті такі позначення: - h - висота греблі, - b - ширина основи греблі; b_1 - ширина гребня греблі; α_1 і α_2 - кути закладання лівого та правого укосів греблі відповідно.

для визначення напружено – деформованого стану ґрунтових гребель точні аналітичні рішення.

2. Розробити алгоритм, що дозволяє враховувати при визначенні осідань основ ґрунтових гребель різномірність матеріалів, з яких вони виготовлені.

3. Розробити алгоритм, що дозволяє враховувати при визначенні осідань ґрунтових гребель неоднорідність будови ґрунтової товщі.

4. Розробити алгоритм, що дозволяє одночасно враховувати викладені у п. 1 та 2 фактори.

На першому етапі задачу досліджень було сформульовано так. До основи прикладено трапецеїдальне вертикальне навантаження. У довільній точці основи

з відомими координатами потрібно визначити напруження, зумовлені цим навантаженням.

Для вирішення задачі нами було використано представлену на рис. 2 схему профілю греблі, з використанням якої трикутна епюра контактних тисків може бути перетворена в трапецеїдальне навантаження.

Для цього слід виконати представлення параметрів контуру греблі у аналітичному вигляді. Маємо:

1. Координата будь-якої точки трикутника m_1nk може бути розрахована з використанням формули:

$$Z_{m_1nk}(x) = H \cdot \left\{ \left(1 + \frac{x}{a} \right) [U(x+a) - U(x)] + \left(1 + \frac{x}{d} \right) [U(x) - U(x-d)] \right\}. \quad (1)$$

Тут H, a і d див. схему на рис. 2 а $U(x)$ - ступінчаста функція Хевісайда [621].

2. Координата будь-якої точки трикутника m_1nk_1 на інтервалі висот $z \in (0, H-h)$ може бути розрахована з використанням формули:

$$Z_{m_1nk_1}(x) = (H-h) \cdot \left\{ \left(1 + \frac{x}{a_1} \right) \begin{bmatrix} U(x+a_1) - \\ -U(x) \end{bmatrix} + \left(1 + \frac{x}{d_1} \right) \begin{bmatrix} U(x) - \\ -U(x-d_1) \end{bmatrix} \right\}. \quad (2)$$

Здесь H, h, a_1 и d_1 - см. схему на рис. 2.

Тут H, h, a_1 і d_1 див. схему на рис. 2.

3. З використанням схеми на рис. 2 і формул (1) та (2) знайдемо координату будь-якої точки трапеції mm_1k_1k . Маємо:

$$\begin{aligned} Z_{mm_1k_1k}(x) &= Z_{m_1nk}(x) - Z_{m_1nk_1}(x) = \\ &= H \cdot \left\{ \left(1 + \frac{x}{a} \right) [U(x+a) - U(x)] + \left(1 + \frac{x}{d} \right) [U(x) - U(x-d)] \right\} - \\ &\quad - (H-h) \cdot \left\{ \left(1 + \frac{x}{a_1} \right) \begin{bmatrix} U(x+a_1) - \\ -U(x) \end{bmatrix} + \left(1 + \frac{x}{d_1} \right) \begin{bmatrix} U(x) - \\ -U(x-d_1) \end{bmatrix} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

4. Для того, щоб визначити навантаження на основу від одного метра довжини ґрунтової греблі, слід помножити (3) на питому вагу матеріалу греблі $\gamma_{нл}$ та 1 метр. Маємо:

$$\begin{aligned}
 q(x) &= \gamma_{нл} \cdot [Z_{mnk}(x) - Z_{m_1nk_1}(x)] = \\
 &= \gamma_{нл} \cdot H \cdot \left\{ \left(1 + \frac{x}{a}\right) [U(x+a) - U(x)] + \left(1 + \frac{x}{d}\right) [U(x) - U(x-d)] \right\} - \\
 &- \gamma_{нл} \cdot (H-h) \cdot \left\{ \left(1 + \frac{x}{a_1}\right) \left[\begin{array}{l} U(x+a_1) - \\ -U(x) \end{array} \right] + \left(1 + \frac{x}{d_1}\right) \left[\begin{array}{l} U(x) - \\ -U(x-d_1) \end{array} \right] \right\} \quad (4)
 \end{aligned}$$

Для визначення залежності діючих у основі греблі напружень від координат використаємо відоме фундаментальне рішення Фламана про вертикальну зосереджену силу, прикладену до горизонтальної верхньої межі нескінченної напівплощини і принцип суперпозиції (рис. 2). Відповідно до [622] маємо:

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_z(x, z) &= \frac{2 \cdot z^3}{\pi} \cdot \int_{x_1}^{x_2} \frac{q(\xi) \cdot d\xi}{r(x, z, \xi)^4}; \quad \sigma_x(x, z) = \frac{2 \cdot z}{\pi} \cdot \int_{x_1}^{x_2} \frac{q(\xi) \cdot (x - \xi)^2 \cdot d\xi}{r(x, z, \xi)^4}; \\
 \tau_{xz}(x, z) &= \frac{2 \cdot z^2}{\pi} \cdot \int_{x_1}^{x_2} \frac{q(\xi) \cdot (x - \xi) \cdot d\xi}{r(x, z, \xi)^4}; \quad r = \sqrt{(x - \xi)^2 + z^2}.
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Тут: $\sigma_x(x, z)$ і $\sigma_z(x, z)$ - нормальні напруження, що діють у напрямку осей Ox та Oz відповідно; $\tau_{xz}(x, z)$ - дотичні напруження у площині Oxz ; $q(x)$ навантаження на денній поверхні основи.

Спочатку знайдемо розподіл вертикальних нормальних напружень $\sigma_{z,mnk}(x, z)$ у точці основи з координатами (x, y) від представленого на рис. 2 навантаження, розподіленого по трикутнику mnk .

Для цього у формулі (1) замінимо змінну x на змінну ξ , підставимо отриманий таким чином вираз у верхню формулу (5) і виконаємо процедуру інтегрування на інтервалі від $x_1 = -a$ до $x_2 = d$. Маємо:

$$\sigma_{z,mnk}(x,z) = \gamma \cdot H \cdot \left. \left[\begin{array}{l} \frac{-x+d}{\pi \cdot d} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+d}{z}\right) + \\ + \frac{x+a}{\pi \cdot a} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a}{z}\right) - \frac{d+a}{\pi \cdot a \cdot d} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) \end{array} \right] \right\}. \quad (6)$$

$$d = b - a.$$

Далі знайдемо розподіл вертикальних нормальних напружень $\sigma_{z,m_1nk_1}(x,z)$ у точці основи з координатами (x,y) від представленого на рис. 1 навантаження, розподіленого по трикутнику m_1nk_1 .

Для цього у формулі (2) замінимо змінну x на змінну ξ , підставимо отриманий таким чином вираз у верхню ліву формулу (5) і виконаємо процедуру інтегрування на інтервалі від $x_1 = -a_1$ до $x_2 = d_1$. Маємо:

$$\sigma_{z,m_1nk_1}(x,z) = \gamma \cdot (H - h) \cdot \left. \left[\begin{array}{l} \frac{-x+d_1}{\pi \cdot d_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+d_1}{z}\right) + \\ + \frac{x+a_1}{\pi \cdot a_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a_1}{z}\right) - \\ - \frac{d_1+a_1}{\pi \cdot a_1 \cdot d_1} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) \end{array} \right] \right\}. \quad (7)$$

$$d = b - a.$$

Залежність вертикального нормального напруження $\sigma_z(x,z)$ від координат знайдемо як різницю напружень $\sigma_{z,mnk}(x,z)$ і $\sigma_{z,m_1nk_1}(x,z)$.

Маємо:

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_z(x, z) &= \sigma_{z, mnk}(x, z) - \sigma_{z, m_1 n k_1}(x, z) = \\
 &= \gamma \cdot H \cdot \left[\frac{-x+d}{\pi \cdot d} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+d}{z}\right) + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{x+a}{\pi \cdot a} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a}{z}\right) - \frac{d+a}{\pi \cdot a \cdot d} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) \right] - \\
 &- \gamma \cdot (H-h) \left[\frac{-x+d_1}{\pi \cdot d_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+d_1}{z}\right) + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{x+a_1}{\pi \cdot a_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a_1}{z}\right) - \frac{d_1+a_1}{\pi \cdot a_1 \cdot d_1} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) \right]; \\
 &\quad d = b - a.
 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Якщо поперечний переріз ґрунтової греблі має форму рівнобедреної трапеції, то $d = a$, $d_1 = b_1$, $b = 2 \cdot a$ та $b_1 = 2 \cdot a_1$, звідки:

$$\sigma_z(x, z) = \frac{\gamma \cdot H}{\pi \cdot a} \cdot \left[(x+a) \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a}{z}\right) - 2 \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) + \right] \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned}
 &+ (a-x) \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{a-x}{z}\right) \right] - \frac{\gamma \cdot (H-h)}{\pi \cdot a_1} \cdot \left[(x+a_1) \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a_1}{z}\right) - \right. \\
 &\quad \left. - 2 \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) + (a-x) \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{a-x}{z}\right) \right]; \quad b = 2 \cdot a.
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Аналогічним чином знайдемо нормальні горизонтальні напруження $\sigma_x(x, z)$. Маємо:

$$\begin{aligned}
 & \sigma_x(x, z) = \\
 & = \gamma \cdot H \cdot \left[\begin{aligned} & -\frac{z}{\pi \cdot d} \cdot \ln(z^2 + (-x + d)^2) - \frac{z}{\pi \cdot a} \cdot \ln(z^2 + (x + a)^2) + \\ & + \frac{z \cdot (d + a)}{\pi \cdot d \cdot a} \cdot \ln(x^2 + z^2) + \frac{-x + d}{\pi \cdot d} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x + d}{z}\right) + \\ & + \frac{a + x}{\pi \cdot a} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x + a}{z}\right) - \frac{d + a}{\pi \cdot d \cdot a} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) \end{aligned} \right] - \\
 & - \gamma \cdot (H - h) \cdot \left[\begin{aligned} & -\frac{z}{\pi \cdot d_1} \cdot \ln(z^2 + (-x + d_1)^2) - \frac{z}{\pi \cdot a_1} \cdot \ln(z^2 + (x + a_1)^2) + \\ & + \frac{z \cdot (d_1 + a_1)}{\pi \cdot d_1 \cdot a_1} \cdot \ln(x^2 + z^2) + \frac{-x + d_1}{\pi \cdot d_1} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x + d_1}{z}\right) + \\ & + \frac{a_1 + x}{\pi \cdot a_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x + a_1}{z}\right) - \frac{d_1 + a_1}{\pi \cdot d_1 \cdot a_1} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) \end{aligned} \right]; \quad (10) \\
 & \quad \quad \quad d = b - a; \quad d_1 = b_1 - a_1.
 \end{aligned}$$

Якщо поперечний переріз ґрунтової греблі має форму рівнобедреної трапеції, то $d = a$, $d_1 = b_1$, $b = 2 \cdot a$ и $b_1 = 2 \cdot a_1$. Тому в даному випадку напруження $\sigma_x(x, z)$ дорівнює:

$$\begin{aligned}
 & \sigma_x(x, z) = \\
 & = \gamma \cdot H \cdot \left[\begin{aligned} & -\frac{z}{\pi \cdot a} \cdot \ln(z^2 + (-x + a)^2) - \frac{z}{\pi \cdot a} \cdot \ln(z^2 + (x + a)^2) + \\ & + \frac{2 \cdot z}{\pi \cdot a} \cdot \ln(x^2 + z^2) + \frac{a + x}{\pi \cdot a} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x + a}{z}\right) - \\ & - \frac{2 \cdot x}{\pi \cdot a} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) + \frac{a - x}{\pi \cdot a} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{a - x}{z}\right) \end{aligned} \right] \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} & -\gamma \cdot (H-h) \left[\begin{aligned} & -\frac{z}{\pi \cdot a_1} \cdot \ln(z^2 + (-x+a_1)^2) - \frac{z}{\pi \cdot a_1} \cdot \ln(z^2 + (x+a_1)^2) + \\ & + \frac{2 \cdot z}{\pi \cdot a_1} \cdot \ln(x^2 + z^2) + \frac{a_1+x}{\pi \cdot a_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a_1}{z}\right) - \\ & - \frac{2 \cdot x}{\pi \cdot a_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) + \frac{a_1-x}{\pi \cdot a_1} \cdot x \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{a_1-x}{z}\right) \end{aligned} \right]; \quad (11) \\ & b = 2 \cdot a; \quad b_1 = 2 \cdot a_1. \end{aligned} \right\}$$

Аналогічним чином знайдемо діючі у основі дотичні напруження $\tau_{xz}(x, z)$

. Маємо:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{xz}(x, z) = & \gamma \cdot H \cdot \left[\frac{(d+a) \cdot z}{d \cdot \pi \cdot a} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) - \frac{z}{\pi \cdot a} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a}{z}\right) + \right. \\ & \left. + \frac{z}{\pi \cdot d} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+d}{z}\right) \right] - \gamma \cdot (H-h) \cdot \left[\frac{(d_1+a_1) \cdot z}{d_1 \cdot \pi \cdot a_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) - \right. \\ & \left. - \frac{z}{\pi \cdot a_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a_1}{z}\right) + \frac{z}{\pi \cdot d_1} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+d_1}{z}\right) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (12) \\ d = b - a; \quad d_1 = b_1 - a_1.$$

Якщо поперечний переріз ґрунтової греблі має форму рівнобедреної трапеції, то $d = a$, $d_1 = b_1$, $b = 2 \cdot a$ и $b_1 = 2 \cdot a_1$. Тому у даному випадку дотичні напруження $\tau_{xz}(x, z)$ дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{xz}(x, z) = & \frac{\gamma \cdot H}{\pi \cdot a} \cdot z \cdot \left[\operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a}{z}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+a}{z}\right) \right] - \\ & - \frac{\gamma \cdot (H-h)}{\pi \cdot a_1} \cdot z \cdot \left[\operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a_1}{z}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+a_1}{z}\right) \right]. \end{aligned} \right\} \\ b = 2 \cdot a; \quad b_1 = 2 \cdot a_1. \quad (13)$$

Отримані нами аналітичні вирази для діючих в основі ґрунтових гребель напружень дозволяють з використанням відомого критерію Кулона - Мора оцінити міцність основи в будь-якій його точці.

Друга частина досліджень присвячена визначенню вертикального переміщення основи греблі. Відповідно до [617, 622] у разі плоскої деформації вертикальну відносну деформацію основи слід визначати за формулою:

$$\varepsilon_z(x, z) = \frac{1}{E} \cdot \left[(1-\nu)^2 \cdot \sigma_z(x, z) - \nu(1+\nu) \cdot \sigma_x(x, z) \right], \quad (14)$$

звідки:

$$U_z(x, z) = \frac{1}{E} \cdot \left[(1-\nu)^2 \cdot \int \sigma_z(x, z) \cdot dz - \nu(1+\nu) \cdot \int \sigma_x(x, z) \cdot dz \right] + F(x). \quad (15)$$

Тут – $\varepsilon_z(x, z)$ вертикальна відносна деформація основи; $U_z(x, z)$ - те ж, переміщення; E та ν - пружні технічні константи основи (модуль пружності та коефіцієнт Пуассона відповідно); $\sigma_z(x, z)$ і $\sigma_x(x, z)$ - вертикальне та горизонтальне нормальні напруження; $F(x)$ - деяка довільна функція координати x .

При розрахунку осідань в даний час використовують метод пошарового підсумовування [609, 610, 611 - 617]. Тому знайдемо осідання основи на інтервалі глибин $z \in (z_1, z_2)$. Для зручності викладення матеріалу покладемо:

$$I_{z,1}(x, z) = \frac{(1-\nu)^2}{E} \cdot \int \sigma_z(x, z) \cdot dz. \text{ и } I_{z,2}(x, z) = \frac{\nu(1+\nu)}{E} \cdot \int \sigma_x(x, z) \cdot dz. \quad (16)$$

Тоді осідання $S_i(x)$ шару завтовшки $h_i = z_{2,i} - z_{1,i}$ і $z_{2,i} \geq z_{1,i}$ дорівнюватиме:

$$\left. \begin{aligned}
 S_i(x) &= U_z(x, z_{2,i}) - U_z(x, z_{1,i}); \quad U_z(x, z) = I_{z,1}(x, z) + I_{z,2}(x, z); \\
 I_{z,1}(x, z) &= \frac{(1-\nu)^2}{E} \cdot \int \sigma_z(x, z) \cdot dz; \quad I_{z,2}(x, z) = \frac{\nu(1+\nu)}{E} \cdot \int \sigma_x(x, z) \cdot dz; \\
 \int \sigma_z(x, z) \cdot dz &= \frac{x^2 \cdot (a+d)}{\pi \cdot a \cdot d} \cdot \ln\left(\frac{x}{z}\right) + \frac{(x+a)}{\pi \cdot a} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x+a}{z}\right) + \\
 &+ \frac{(d-x)^2}{2 \cdot \pi \cdot d} \cdot \ln\left[1 + \frac{(-x+d)^2}{z^2}\right] - \frac{(d-x)^2}{\pi \cdot d} \cdot \ln\left[\frac{-x+d}{z}\right] - \\
 &- \frac{x^2 \cdot (d+a)}{2 \cdot \pi \cdot d \cdot a} \cdot \ln\left(1 + \frac{x^2}{z^2}\right) - \frac{x \cdot z \cdot (d+a)}{\pi \cdot d \cdot a} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) + \\
 &+ \frac{(x+a)^2}{2 \cdot a \cdot \pi} \cdot \ln\left[1 + \frac{(x+a)^2}{z^2}\right] - \frac{(x+a)^2}{a \cdot \pi} \cdot \ln\left[\frac{x+a}{z}\right] + \\
 &+ \frac{(-x+d)}{\pi \cdot d} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+d}{z}\right); \\
 \int \sigma_x(x, z) \cdot dz &= \frac{1}{2} \cdot \frac{(a+d) \cdot (x^2 + z^2) \cdot \ln(x^2 + z^2)}{\pi \cdot a \cdot d} - \\
 &- \frac{1}{2} \cdot \frac{\left[\frac{z^2 + (-x+d)^2}{\pi \cdot d} \cdot \ln\left[\frac{z^2 + (-x+d)^2}{+(-x+d)^2} \right] - \frac{1}{2} \cdot \frac{\left[\frac{z^2 + (x+a)^2}{\pi \cdot a} \cdot \ln\left[\frac{z^2 + (x+a)^2}{+(x+a)^2} \right] \right]}{\pi \cdot a} + \\
 &+ \frac{x^2 \cdot (d+a) \cdot \ln(x/z)}{\pi \cdot a \cdot d} + \frac{x+a}{a \cdot \pi} \cdot \arctan\left(\frac{x+a}{z}\right) + \frac{d+a}{2 \cdot \pi} - \\
 &- \frac{(x+a)^2}{\pi \cdot a} \cdot \ln\left(\frac{x+a}{z}\right) - \frac{(-x+d)^2}{\pi \cdot d} \cdot \ln\left(\frac{-x+d}{z}\right) + \\
 &+ \frac{(x+a)^2}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \ln\left[1 + \frac{(x+a)^2}{z^2}\right] + \frac{(-x+d)^2}{2 \cdot \pi \cdot d} \cdot \ln\left[1 + \frac{(-x+d)^2}{z^2}\right] - \\
 &- \frac{x \cdot z \cdot (d+a)}{a \cdot \pi \cdot d} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{z}\right) - \frac{x^2 \cdot (d+a)}{2 \cdot a \cdot \pi \cdot d} \cdot \operatorname{arctg}\left(1 + \frac{x^2}{z^2}\right) + \\
 &+ \frac{z \cdot (-x+d)}{\pi \cdot d} \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{-x+d}{z}\right); \quad d = b - a.
 \end{aligned} \right\} \cdot (17)$$

Якщо поперечний профіль греблі має форму рівнобедреної трапеції, то в (17) слід покласти $d = a$.

Формула (17) дозволяє в межах стиснутої товщі використовувати для розрахунку осідань основ ґрунтових гребель, обумовлених додатковими напруженнями від ваги греблі, відому методику шарового підсумовування і формулу ДБН, а саме:

$$S(x) = \sum_{i=1}^n S_i(x), \quad (18)$$

де $S(x) = \sum_{i=1}^n S_i(x)$ - осідання основи греблі в точці з координатою (див. формулу (17)), а $S_i(x)$ - осідання елементарного шару основи товщиною h_i , покрівля якого знаходиться на глибині $z_{1,i}$, а підшва - на глибині $z_{2,i}$.

Якщо не потрібна дуже висока точність визначення осідань основи греблі, то обумовлені додатковими напруженнями від ваги греблі осідання можуть бути розраховані з використанням відомої формули ДБН:

$$S(x) = \beta \cdot \left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_z(x, z_{1,i}) + \sigma_z(x, z_{2,i})}{2 \cdot E_i} \cdot h_i; \\ h_i = z_{2,i} - z_{1,i}. \end{array} \right\} \quad (19)$$

Тут $S(x)$, $z_{1,i}$, $z_{2,i}$ - див. пояснення до формули (18), σ_z - додаткове напруження у основі, яке слід визначати за формулами (8) і (9), $\beta = 0,8$, а E_i - модуль загальної деформації i -того ґрунтового шару на інтервалі глибин $z \in (z_{1,i}, z_{2,i})$.

Нарешті, у третій частині цього дослідження нами представлено один з варіантів використання отриманих нами теоретичних результатів стосовно визначення напружено – деформованого стану ґрунтової греблі, побудованої з різномірних матеріалів. Ілюстрація запропонованого нами з цією метою підходу представлена на рис. 3.

З малюнку випливає, що якщо необхідно розрахувати напружено – деформований стан основи ґрунтової греблі у якій тіло греблі має питому вагу γ_1 , а ядро - γ_1 , то слід поступити так:

1. Для виконання розрахунків слід використовувати розрахункову схему на рис. 2. При цьому:

1.1. Якщо потрібно визначити вертикальні напруження σ_z , слід використовувати формули (8) і (9).

1.2. Якщо потрібно визначити горизонтальні напруження σ_x , слід використовувати формули (10) і (11).

1.3. Якщо потрібно визначити дотичні напруження τ_{xz} слід використовувати формули (12) і (13),

1.4. Якщо потрібно визначити осідання (тобто вертикальні переміщення) основи греблі слід використовувати формули (17), (18), і (19).

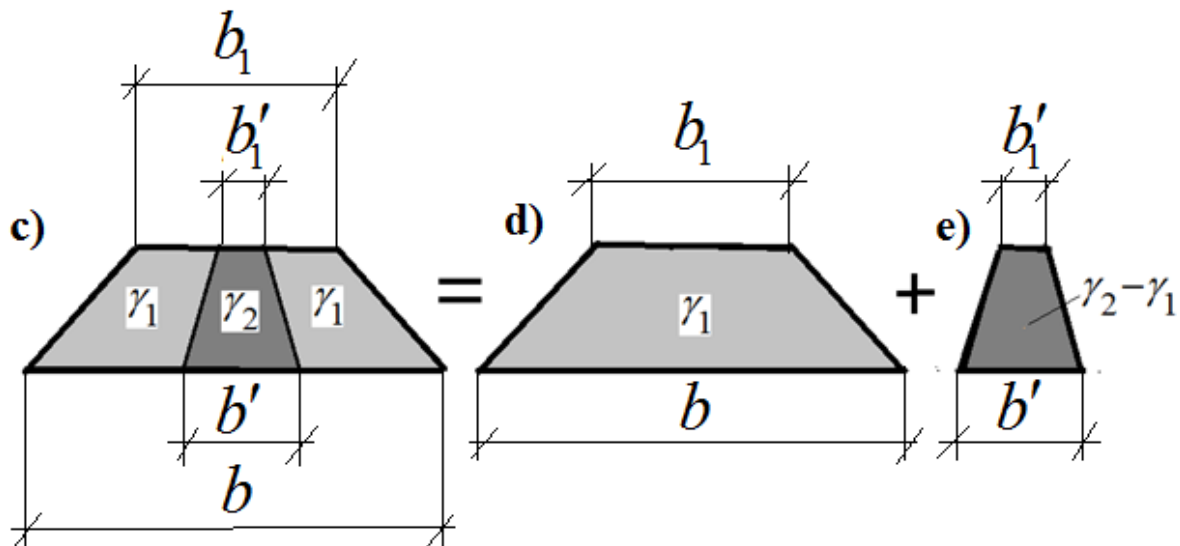


Рис. 3. Схема використання отриманих нами теоретичних результатів для розрахунку основ ґрунтових гребель із матеріалів з різною питомою вагою.

Примітки:

1. γ_1 - питома вага тіла греблі; γ_2 - питома вага ядра греблі.
2. Висоти елементів греблі з різною питомою вагою однакові.

2. Для визначення кожного з перерахованих у п. 1 даного алгоритму компонентів напружень і переміщень стосовно представленої на рис. 3-с схеми слід виконати такі дії:

2.1. Спочатку слід розрахувати значення напружень і переміщень для представленої на рис. 3 – d розрахункової схеми. При цьому питому вагу матеріалу греблі слід прийняти рівним γ_1 .

2.2. Далі слід розрахувати значення напружень і переміщень для представленої на рис. 3 - e розрахункової схеми. При цьому питому вагу матеріалу греблі слід прийняти рівною $\gamma_2 - \gamma_1$.

2.3. Отримані в такий спосіб результати слід скласти.

Загалом у даній монографії наведено такі результати:

1. У рамках моделі основи у вигляді лінійної пружної ізотропної середовища проживання і розрахункової схеми плоскої деформації отримані аналітичні залежності напружень і деформацій півплощини, до верхньої межі якої прикладено трапецеїдальне навантаження у вигляді рівно - і нерівносторонній трапеції.

Ці дані необхідні для розрахунку за першою та другою групами граничних станів основ гребель із ґрунтових матеріалів, насипів залізничних та автомобільних доріг та інших споруд, розташованих на основах, складених слабкими ґрунтами.

2. Запропоновано алгоритми визначення осідань підшви ґрунтових гребель, обумовлених додатковими напруженнями в основі від ваги греблі.

3. Розроблено алгоритм визначення напружено – деформованого стану основ ґрунтових гребель, виконаних з матеріалів з різною питомою вагою.

У завершення слід зазначити, що наведені у даній монографії матеріали досліджень слід використовувати при проектуванні транспортних, енергетичних та сільськогосподарських споруд.

REFERENCES

1. Зекин, В.Н. Основы организации, управления и планирования в строительстве: учебное пособие/ В.Н. Зекин., Е.А. Исыпова; ПАТУ. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2021. – 126 с.
2. Організація будівництва/ С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін.; За редакцією С.А. Ушацького. Підручник. – К.: Кондор, 2007. – 521 с.
3. Усе про облік та організацію будівельної діяльності // 4-те вид., перероб. і доп. – Х.: Фактор, 2007 – С. 512
4. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
5. Лемішко, К. К. Переробка промислових техногенних відходів виробництва. Diss. Академія технічних наук України, 2018.
6. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).
7. Березюк, О. В. "Математичне моделювання прогнозування об'ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві 7.2 (2009): 88-91.
8. Voiko, T., et al. Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems. Vol. 3. International Science Group, 2021
9. Березюк, О. В., et al. "Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час весняного компостування." Вісник Вінницького політехнічного інституту 1 (2015): 29-33.
10. Kazachiner, O., et al. Theoretical and scientific foundations of pedagogy and education. Vol. 1. International Science Group, 2022
11. Березюк О.В. Визначення параметрів машин для поводження з твердими відходами : монографія /О.В. Березюк, М.С. Лемешев // Omni Scriptum Publishing Group, 2020. – 61 с.
12. Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021
13. Березюк О. В. Визначення регресійної залежності необхідної площі під обладнання для компостування твердих побутових відходів від його продуктивності / О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Инновационное развитие территорий: матер. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. (25 – 27 февраля 2014 г.) ; Отв. за вып. Е. В. Белановская. – Череповец : ЧГУ, 2014. – С. 55 – 58.

14. Лемешев, М. С., et al. "Сучасні підходи комплексної переробки промислових техногенних відходів." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві 31.2 (2021): 37-44.
15. Березюк О. В. Стан поводження з твердими побутовими та промисловими відходами в Україні / О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Научные труды SWorld. – Выпуск 49. Том 1. – Иваново : Научный мир, 2017. – С. 69–73.
16. Лемешев, М. С. "Теоретические предпосылки создания радиопоглощающего бетона бетэла-м." Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури 1: 60-64. (2005).
17. Лемішко К. К. Жаростійке в'язуче з використанням відходів промисловості. / Лемішко К. К., Лемешев М. С. // Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених science on civil protection as a way of becoming young scientists, 2019, 154.
18. Лемешев М.С. Електропровідні бетони для захисту від статичної електрики // Перспективні досягнення сучасних вчених: матер. наук. симп., 19-20 вер. 2017 р. Одеса. 5 с.
19. Березюк О. В. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час літнього компостування / О. В. Березюк, С. М. Горбатюк, Л. Л. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 4. – С. 17-20.
20. Миронов, О. В. "Современные стеновые композиционные строительные материалы специального назначения." Алтайский государственный аграрный университет, 2012
21. Лемешев, М. С. "Розробка радіозахисних будівельних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: ВНТУ, 2006, 244-250.
22. Bereziuk O.V., Lemeshev M.S., Bogachuk V.V. et al. Increasing the Efficiency of Municipal Solid Waste Pre-processing Technology to Reduce Its Water Permeability // Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021. С. 33-41.
23. Березюк О. В. Привод зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі / О. В. Березюк // Вісник машинобудування та транспорту.– 2016. –№ 2. – С. 14-18.
24. Федун, А. В. Організаційно–технічні заходи щодо зменшення електромагнітного забруднення природними джерелами опромінення. Diss. Сборник научных трудов SWorld, 2014
25. Bereziuk O.V., Lemeshev M.S., Bogachuk V.V. et al. High-precision ultrasonic method for determining the distance between garbage truck and waste bin //

Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics, and Control. 2021. P. 279-290.

26. Лемешев, М. С. "Антистатичні покриття із бетелу-м." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: 217-223. (2004).
27. Березюк О. В. Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы "RegAnaliz" / О. В. Березюк // Автоматизированные технологии и производства. – 2015. – № 2 (8). – С. 43-45.
28. Ковальчук, С. В. "Специальные строительные материалы на основе вторичных продуктов промышленности.". Тюменский индустриальный университет, 2013
29. Лемешев М. С. Ніздрюваті бетони з використанням промислових відходів / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2017 : материалы международной научно-практической Интернет-конференции. – Москва : SWorld, 2017. – 7 с.
30. Bereziuk, O., M. Lemeshev, and A. Cherepakha. "Ukrainian prospects for landfill gas production at landfills." Theoretical aspects of modern engineering: 58-65. (2020).
31. Sivak, R.. Peculiarities of using industrial waste in the construction industry. ВНТУ, 2021.
32. Bereziuk O. Ultrasonic microcontroller device for distance measuring between dustcart and container of municipal solid wastes / O. Bereziuk, M. Lemeshev, V. Bogachuk, W. Wójcik, K. Nurseitova, A. Bugubayeva // Przegląd Elektrotechniczny. – Warszawa, Poland, 2019. – No. 4. – Pp. 146-150. – <http://dx.doi.org/10.15199/48.2019.04.26>
33. Лемешев М.С. Металлонасыщенные бетоны для защиты от электромагнитного излучения // Вісник ОДАБА. 2013. № 33. С. 253-256.
34. Березюк, О. В., М. С. Лемешев, and С. В. Королевська. "Математичне моделювання прогнозування обсягів продукування будівельних відходів в різних країнах світу." Вісник Вінницького політехнічного інституту 3 (2021): 41-46.
35. Стаднійчук, М. Ю. Пріоритетні напрямки використання відходів. Diss. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2019.
36. Ковальський, В. П., et al. "Использование минеральных заполнителей, наполнителей и микронаполнителей в сухих строительных смесях для поризованных растворов." Technical research and development: collective monograph. 8.9: 360–366. (2021).
37. Сорока, В. В. Енергоефективні спеціальні матеріали для тепломодернізації будівель. Diss. Сборник научных трудов SWorld, 2014.

38. Лемешев М. С. Особливості використання промислових техногенних відходів в галузі будівельних матеріалів / М. С. Лемешев, К. К. Сівак, М. Ю. Стаднійчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2020. – № 2.
39. City of Architecture. URL: <https://en.rotterdam.info/architecture/>
40. Rotterdam Central Station / West 8 + Benthem Crouwel Architects + MVSA Architects. URL: https://www.archdaily.com/588218/rotterdam-central-station-benthem-crouwel-architects-mvsa-meyer-en-van-schooten-architecten-and-west-8?ad_medium=widget&ad_name=recommendation
41. Markthal Rotterdam / MVRDV. URL: https://www.archdaily.com/553933/markthal-rotterdam-mvrdv?ad_medium=widget&ad_name=recommendation
42. Denim Pascucci. AD Classics: Kubuswoningen / Piet Blom. URL: <https://www.archdaily.com/482339/ad-classics-kubuswoningen-piet-blom>
43. De Bibliotheek Rotterdam. URL: <https://www.bibliotheek.rotterdam.nl/>
44. Laurenskerk Rotterdam. URL <https://laurenskerkrotterdam.nl/en/>
45. Luchtsingel / ZUS + Hofbogen BV. URL: https://www.archdaily.com/346241/luchtsingel-zus-hofbogen-bv?ad_source=search&ad_medium=projects_tab
46. Erasmusbrug. URL: <https://www.rotterdam.nl/locaties/erasmusbrug/>
47. Willemsbrug. URL: [rotterdam.nl/locaties/willemsbrug](https://www.rotterdam.nl/locaties/willemsbrug)
48. Всесвітня історія архітектури у 12т. Т. 8 (1969) . М. : Стройиздат
49. Искусство стран и народов мира в 5т. Т.4 (1978). М. : Сов. Энциклопедия.
50. Назарбаев Н. А. В сердце Евразии. Алматы: Атамура, 2005. – 192 с.
51. Назарбаев Н. А. Казахский путь. Караганда, 2006. – 372 с.
52. Джаксыбеков А. Р. Так начиналась Астана: записки первого Акима столицы. Астана: Валери-ART, 2008. – 303 с.
53. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Астана – город мира». – Астана: Библиотека Первого Президента Республики Казахстан – Елбасы, 2018, – 312 с.
54. Електроний ресурс: «Архитектура Астаны. Где встречаются Восток и Запад» - www.autogear.ru/article/416/081/arhitektura-astanyi-gde-vstrechayutsya-vostok-i-zapad/
55. Електроний ресурс: «Нурсултан» - <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D1%80-%D0%A1%D1%83%D0%BB%D1%82%D0%B0%D0%BD#%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F>

56. Електронний ресурс: EXPO-2017 -
https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/kakie-skandalyi-soprovojdali-expo-2017-zagodyi-podgotovki-310418/
57. Міжнародна спеціалізована виставка «Експо» -
<https://egov.kz/cms/ru/articles/expo2017>
58. Нур Алем. Сферичний музей енергії майбутнього в Нур-Султані (Астані) -
<https://www.centralasia-travel.com/ru/countries/kazakhstan/sights/nur-alem>
59. Bagatokvartyrne zytlo: tendencii evolucii [text] : monografija / Igor Gnes ; Nac. un-t «Lviv. politechnika». — L.: Vyd-vo Lviv. politechnika, 2013. — 650 s.: rys. — Bibliogr.: s. 643-650. — 300 ekz. — ISBN 978-617-607-525-7.
60. Kostrikin N.D. Plan goroda kak osnova formirovanija ego chudozestvennogo obraza. Dis. kand.architektury. - M., 1977. - 154 s.
61. Zoltovsky I.V. Gorod, ulica, dom. V kn.: Mastera sovetskoj architektury. Kiev, 1953, s.77-82.
62. Raninsnij Ju. Problemy rekonstrukcii sredy istoricheskogo goroda: Zylischnoe stroitelstvo, 1977, № 12, s.18-22.
63. Lejzerovich E.E., Najmarr N.I. Lokalnyje sistemy rasselenija. - V sb.: V pomoshch proektirovshchiku. Kiev, 1970, № 2, s.59-68.
64. Meshcherjakov V.: <http://www.slovo.odessa.ua/main/1564-istoricheskij-centr-odessy-vysotki-ili-yunesko.html#ixzz6lmSA2jO5> .
65. Osnove formirovanija arhitekturno-chudozestvennjg oblika gorodov /Belousov V., Kulaga L. Lavrov V. Smollar I.M. i dr. - M.: Strojizdat, 1981. 192 s.
66. Timofeenko V.I. Vidrozzennja Odessy. / V.I.Timofeenko. – Kiev: Budivelnik, 2006. - 190 s.
67. Котик М.А. Психологія та безпека. - Таллін: Валгус, 1989. - 448 с.
68. Скобунов В.В. Оценка безопасности строительного производства//Охрана труда в строительстве. Сборник трудов с.14-19. – М. 1984. – 218 с.
69. Щенніков Н.І. Психологічний акцент в аналізі виробничого травматизму і його профілактики // Щенніков Н.І., Курагіна Т.І., Пачурін Г.В. Сучасні проблеми науки та освіти. - 2009. - вип. 4. - с.162- 166. Шишков В.З., Тарадай В.И. Психология безопасности. – К.: НИИЦОП, 1996.
70. Яремко З.М., Галаджун Я.В.. Кореляційні співвідношення між деякими психофізіологічними особливостями людини, рівнем уваги і ступенем задоволення потреби // Матеріали II науково - методичної конференції «Безпека життя і діяльності людини - освіта, наука, практика». - Т., 2003. - с.142 – 144
71. Баклицький І.О. Психологія праці. – «Знання», 2008. – 655 с.

72. Костарев А.П. Человеческий фактор, его влияние на травматизм и аварийность//Безопасность труда в промышленности. –1985. – №. 4. – с.2- 7
73. Скобунов В.В. Оценка безопасности строительного производства//Охрана труда в строительстве. Сборник трудов с.14-19. – М. 1984. – 218 с.
74. Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт, затверджені наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19 січня 2015 року № 21 Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт, затверджені наказом Міненерговугілля від 19.01.2015 № 21; НПАОП 0.00-1.75-15
75. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями, затверджені наказом Міненерговугілля від 19.12.2013 № 966 (НПАОП 0.00-1.71-13);
76. Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками, затверджені наказом Мінсоцполітики від 28.12.2017 № 2072 (НПАОП 0.00-7.14-17);
77. Э. Хенли, Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. – М. – Машиностроение. -1984. -528 с.
78. Щенников Н.И. Психологический акцент в анализе производственного травматизма и его профилактики//Щенников Н.И., Курагина Т.И., Пачурин Г.В. Современные проблемы науки и образования. – 2009. – вып. 4. – с.162- 169
79. Шишков В.З., Тарадай В.И. Психология безопасности. – К.: НИИЦОП, 1996.
80. Каталог конструктивных решений по усилению и восстановлению строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: «ЦНИИПромзданий», 2009.
81. Швець В.Б., Феклін В.І., Гінзбург Л.К. Посилення і реконструкція фундаментів. - М.: Стройиздат, 1985.
82. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Київ, ДП „УкрНДНЦ”, 2017.
83. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – Київ, Мінрегіонбуд, 2018.
84. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – Київ, Мінрегіонбуд, 2018.
85. Савенко В.І. Доценко С.І.Васильков В.Г.. та ін. Менеджмент якості в будівництві та виробничі організаційні системи [Текст] монографія В.І.Савенко під ред. Лівінського О.М. та ін. – Київ Центр учб.літер.2018 -230с.
86. В.І.Савенко С.І., Доценко П.М., Куліков І.С., Нестеренко та ін.. Дослідження і математичне моделювання організаційних структур та виробничих процесів

- будівельних організацій комбінатного типу УАН, - Київ Центр учб. літ. 2018 - 124с.
87. В.І.Савенко С.С.Савенко С.І.Доценко та ін. Конкурентоспроможність будівельної організації – основа виживання економіки УАН – Київ Центр учб.літ. 2017 -128с.
88. Доценко, С. І. Розвиток принципу бінарних відносин в теорії управління економічними процесами [Текст]: монографія / С. І. Доценко; під ред. В. О. Тимофєєва, І. В. Чумаченко. – Х.: ХНУРЭ, 2015. – 245 с.
89. Патент України №54694 Індустріальна конструктивна технологія Система збірно-монолітний каркас універсальний бетонний (Система З-МКУБ) автори Благодирьов В.О.,Брусан А.А.Данилець В.М., Куцєпко Є.М. 2014 р. Україна
90. Савенко В.И, Благодырев В.А., Фесенко Н.В., Нечаев А.Н. ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СБОРНО_МОНОЛИТНЫЙ Окружкин А.А., КАРКАС УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БЕТОННЫЙ (С-М КУБ) НА БАЗЕ ВНЕДРЕННОЙ ПРОГРЕССИВНОЙ СИСТЕМЫ КУБ-2,5 XII International scientific and practical conference Actual priorities of modern sciens , education and practice Paris.France March 29-April 01,2022 pp845-850 ISBN 979-8-88526-748-9 DOI 10.46299/ISG.2022.1.12
91. Кришан А. Л. Трубобетонные колонны для многоэтажных зданий. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2008. №4. С.75 – 80.
92. Югов А.М., Таран В.В. Исследование организационно-технологических решений возведения трубобетонных конструкций в каркасных зданиях. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2013. Вип. 27. С. 398 - 406.
93. Росновский В.А. Трубобетон в мостостроении. Москва, Трансжелдориздат, 1963. 110 с.
94. Стороженко Л.И. Железобетонные конструкции с косвенным армированием. – Киев: УМКО ВО, 1989. 99с.
95. Гнедовский В.И. Косвенное армирование железобетонных конструкций Ленинград: Стойиздат, 1981. 126с.
96. ДСТУ 8706-78. Листы стальные просечно-вытяжные. Технические условия.. Москва: Госстандарт, 1981. 5 с.
97. Шмуклер В.С., Климов Ю.А., Бурак Н.П. Каркасные системы облегченного типа. Харьков: Золотые страницы, 2008. 336с.
98. Синьковская Е.В. Опора моста облегченного типа. Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТБА, 2012. № 68. С. 96 - 100.

99. Синьковская Е.В. Применение новых типов армирования в мостовых опорах. Проблемы розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник: тези докл. Київ: НАУ, 2011. Вип.5 – 6. С. 328 - 329.
100. Smirnova N., Bugaevskii S., Ignatenko A., Synkovska O., Kovalov M. Experimental research of steel-concrete load bearing components of bridge column piers. Matec Web of conferencias, Volume 234, 21 November, 2018.04003.
101. Шмуклер В.С., Петрова Е.А, Синьковская Е.В. Рациональные конструкции сталебетонних мостових опор. Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТБА, 2013. № 74. С. 148 - 156.
102. Sinkovskaia E and Ignatenko A Peculiarities of carrying capacity evaluations of cylindrical CFST columns with new type casing MATEC Web of Conf. 2017, 116. 02031
103. 4 Алфутов Н. А., Зиновьев П.А., Попов Б.Г. Расчет многослойных пластин и оболочек из композитных материалов. Москва:Машиностроение, 1984. 264с.
104. Елпатьевский А. Н., Васильев В.В. Прочность цилиндрических оболочек из армированных материалов. Москва: Машиностроение, 1972. 168 с.
105. Феодосьев В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. Москва: Наука,1967. 376 с.
106. Синьковская Е.В. Экспериментальные исследования мостовых опор нового типа. Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы Двенадцатой Междунар. науч.-техн. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С.332-337.
107. Синьковская Е.В., Суржан Е.А. Сталебетонные цилиндрические несущие элементы опор зданий и сооружений нового типа, их несущая способность. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків, 2014. Вип. 149. С. 169-178.
108. Шмуклер В.С., Синьковская Е.В. Экспериментальные исследования сталебетонных столбчатых мостовых опор при внецентренном малоцикловом сжатии. Будівельні конструкції: міжвідомчий наук.-техн. зб. наукових праць. Київ: НДІБК,2011. Вип.79.Книга 1. С.363- 369.
109. Андриевский Г.В., Клочков В.К. Гидратированные фуллерены как универсальные биоантиоксиданты и роль в этом особых упорядоченных структур воды. //Сб. Тезисов УП Междун. Симп. «Биологические механизмы старения». Харьков. – 2006. – С.91–92.
110. Калинин Ю.К. Углеродсодержащие шунгитовые породы и их практическое использование: Дис..док. тех. наук.– М. – 2002. – 154с. Пиотровский Л.Б., Киселев О.И. Фуллерены в биологии. Санкт-Петербург. 2005. – 256с.

111. Tan, Y.-Z. Carbon arc production of heptagon-containing fullerene₆₈ / Y.-Z. Tan, R.-T. Chen, Z.-J. Liao, J. Li, F. Zhu, X. Lu, S.-Y. Xie, J. Li, R.-B. Huang, L.-S. Zheng // *Nature Comm.* – 2011. – V. 2. – No. 1. – DOI: 10.1038/ncomms1431.
112. Коваленко, В. И. Закономерности молекулярного строения стабильных фуллеренов / В. И. Коваленко, А. Р. Хаматгалимов // *Усп. хим.* – 2006. – Т. 75. – № 11. – С. 1094–1102.
113. Tarek Baati, Fanchon Bourasset, Najla Gharbi, Leila Njim, Manef Abderrabba, et. al.. (2012). The prolongation of the lifespan of rats by repeated oral administration of [60]fullerene. *Biomaterials*. 33, 4936–4946.
114. Dawid A, Go rny K, Gburski Z. The influence of distribution of hydroxyl groups on vibrational spectra of fulleranol C₆₀(OH)₂₄ isomers: DFT study. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 2015;136:1993–1997. doi: 10.1016/j.saa.2014.08.023.
115. Piotrovskii LB. The study of the stability of fullerene C₆₀ films. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy.* 2017;15(2):42–45. (In Russ.)). doi: 10.17816/RCF15242-45.
116. Kong L, Zepp RG. Production and consumption of reactive oxygen species by fullerenes. *Environ Toxicol Chem.* 2012;31(1):136–143. doi: 10.1002/etc.711.
117. Луговая Н.П. Исследование качественного состава культуральной жидкости, образующейся при производстве дрожжей // *Инновационные технологии в пищевой промышленности / Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по продовольствию.* – Минск, 2015. – С. 310–313.
118. M. Botany Department, Faculty of Science, Tanta University, Tanta, Egypt. *Journal of Plant Nutrition* (2004), 27(10), 1859–1874.
119. Елецкий А. В., Смирнов Б. М. Фуллерены и структуры углерода // *Успехи физических наук.* – 1995. – № 9.
120. Сидоров Л. Н., Иоффе И. Н. Эндодральные фуллерены // 2001, № 8, с.31
121. Buseck P.R. Geological fullerenes: review and analysis. (англ.)// *Earth and Planetary Science Letters.* (2002) 203(I 3–4): 781–792
122. Dawid A, Go rny K, Gburski Z. The influence of distribution of hydroxyl groups on vibrational spectra of fulleranol C₆₀(OH)₂₄ isomers: DFT study. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 2015;136:1993–1997. doi: 10.1016/j.saa.2014.08.023.
123. Piotrovskii LB. The study of the stability of fullerene C₆₀ films. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy.* 2017;15(2):42–45. (In Russ.)). doi: 10.17816/RCF15242-45.

124. Kong L, Zepp RG. Production and consumption of reactive oxygen species by fullerenes. *Environ Toxicol Chem.* 2012;31(1):136–143. doi: 10.1002/etc.711.
125. Cardoso R.T.N. Solving Impulsive Control Problems by Discrete-Time Dynamic Optimization Methods / R.T.N. Cardoso, R.H.C. Takahashi // Department of Electrical Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil. – 2008, *Tend. Mat. Apl. Comput.*, 9, No. 1 . – P. 21–30.
126. David J. Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases / J.David , D. Earn // Department of Mathematics and Statistics, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 2008. – P. 1–33.
127. Gardam M. The impact of prophylaxis of healthcare workers on influenza pandemic burden / M. Gardam, D. Liang, S.M. Moghadas, J. Wu, Q. Zeng & H. Zhu // *J. R. Soc. Interface* 4. – 2007. –P 727–734.
128. Jung, E.O. Optimal control of treatments in a two-strain tuberculosis model / E.O. Jung, S Lenhart, Z Feng // *Discret and Continuous Dynamical Systems-Series .* – 2002. – B 2–4, P. 473–382.
129. Martsenyuk V.P. Optimization of Estimates for Characteristics of Dynamical Systems Based on 2nd Lyapunov Method. / Khusainov D.Ya., Ivanov A.F., Rubinov A.M., Bychkov A.S., Martsenyuk V.P. / Тезисы докладов 3-й Московской международной конференции по исследованию операций (ORM2001), Вычислительный центр РАН. – 2001. – С.53–54.
130. Oldstone M. B. A, *Viruses, Plagues, and History*, Oxford University Press / M. B. A Oldstone // Oxford, New York.- 2010.- P.400.
131. Regoes R. R. Emergence of drug-resistant influenza virus: population dynamical considerations / R.R. Regoes & S. Bonhoeffer // *Science* 312. – 2006. – P. 389–391.
132. Sethi S.P. *Optimal Control Theory: Applications to Management Science and Economics* / Sethi, S.P., and Thompson, G.L // Kluwer, Boston, 2nd edition. – 2000. – P.504.
133. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. – Москва: Мир, 1984. – 350 с.
134. Зеленцов Д.Г., Радуль О.А., Короткая Л.И. Анализ применимости аналитических формул при решении задач долговечности стержневых корродирующих конструкций. Системні технології. [Регіональний міжвузівський збірник наукових праць].– Вип. 3 (50). – 2007. – С. 121 – 129.
135. Зеленцов Д. Г., Новикова Л. В., Денисюк О. Р. Математические модели сечений элементов шарнирно-стержневых конструкций, подверженных воздействию агрессивных сред. Вестник Херсонского национального технического университета. – 2015. – №2(53). – С. 146–151.
136. Зеленцов Д.Г. Расчет конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы. – Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 168 с.

137. Зеленцов, Д. Г., Корткая Л. И. Технологии вычислительного интеллекта в задачах моделирования динамических систем – монография. – Днепр: Баланс-Клуб, 2018. – 178 с.
138. Коротка Л. І. Підвищення ефективності обчислювальних методів моделювання поведінки кородуючих конструкцій: дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02 / Коротка Лариса Іванівна – Дн-ск., 2012. – 144 с.
139. Korotka L. I., Korotka Y. A. The use of elements of computational intelligence in problems of forecasting of corroding constructions durability. Mathematical and computer modelling. Series: Technical sciences – 2017. Issue 16. – P. 64-71
140. Зеленцов Д.Г., Короткая Л.И. Способы повышения эффективности численного решения некоторых классов систем дифференциальных уравнений. «Современные проблемы математики, механики и информатики». Сборник статей. / Под. ред. Н.Н. Кизиловой, Г.Н. Жолтакевича. – 2011. С. 234-241.
141. Постон Т. Теория катастроф и её приложения / Т. Постон, И. Стюарт. – Москва: Мир. – 1980. – 607 с.
142. Краснобрыжев В. Глобальный технологический ресурс макроскопической нелояльности. Когерентный технологии. Комплементарная когерентная вода. Монография. - 2012. – 100 с.: www.ingimage.com
143. Курик М.В., Песоцкая Л.А. Кирлианография живых и косных тел. биосферы. Монография. - Дніпропетровськ, 2014. – 98 с.
144. Курик М.В., Песоцкая Л.А., Глухова Н.В., Евдокименко Н.М. Кирлианография энерго-информационных взаимодействий воды. Монография. – 2015. –Днепропетровск: Литограф. – 138 с.
145. Воейков В. Л. Собственная активность водных систем – основа биологической эволюции / Международный ХУ научный конгресс «Наука. Информация. Сознание». Сборник статей. – С. Петербург. – 2011. Эл. ресурс [[Воейков drvolkov.ru>index.php/?section=96](http://Воейков.drvolkov.ru/index.php/?section=96)].
146. Roberto Germano Electron extraction from bi-distilled water / Эл. ресурс: Water Conference 2014 www.waterconf.org
147. Benny Johansson Do quantum state oscillations in natural drinking water benefit human health? / Эл. ресурс: Water Conference 2014 www.waterconf.org
148. Колтовой Н.А. Метод Кирлиан. - Эл. ресурс: <https://koltovoi.nethouse.ru>
149. Korotkov K. Energy fields electrophotonic analysis in humans and nature. – 2014. – 233 p.
150. Минцер О., Песоцкая Л., Горовая А., Глухова Н., Крачунов Х., Евдокименко Н. Использование кирлианфотографии воды для оценки ее биологических свойств // Международный журнал «Устойчивое развитие». – 2021. - № 2. – С. 56–63. Болгария. Варна, Технический университет.

<https://maurorg77/wixsite/com/maur-org> ISSN: 1314-4138 (print), ISNN: 2367-5454 (online).

151. Мінцер О.П., Краснобрижев В.Г., Пісоцька Л.А., Глухова Н.В., Тепла Т.Д. Аналіз біологічної активності води та її енергоінформаційних копій за даними кірліаногам // Медична інформатика та інженерія. 2021, № 2 (54). – С. 35 – 47.

152. Песоцкая Л., Краснобрыжев В., Минцер О., Глухова Н. Использование метода кирлиановской фотографии для экспресс-оценки когерентных свойств воды // Международный журнал «Устойчивое развитие». – 2021. - № 2.–С. 21–29. Болгария. Варна, Технический университет. <https://maurorg77/wixsite/com/maur-org> ISSN: 1314-4138 (print), ISNN: 2367-5454 (online).

153. Пісоцька Л.А., Глухова Н.В. Спосіб оцінки біологічної активності води / Патент на корисну модель. Пат. 91003 Україна: МПК G01N 21/00. Заявлено 19.12.2013; опубл. 25.06.2014, Бюл. №12.

154. Способ определения степени когерентности состояния воды / Песоцкая Л.А., Минцер А.П., Глухова Н.В. // Патент Украины на изобретение №112809, дата подачи заявки 2.03.15 г., опубл. 25.10.16 г., Бюл. №20.

155. Ozar Mintser, Liudmyla Pisotska, Nadiia Stetsula, Vasyl Stakhiv, Larysa Kutalo Assessment of coherent properties of water from natural sources using kirlianphotography of water // Scientific journal of polonia university Periodyk Naukowy Akademii Polonijnej, Częstochowa, 2021, 47 (2021) nr 4, s. 158-170

156. Мінцер О.П., Пісоцька Л.А., Чурилов В.В., Гулевська Г.І. Пристрій газорозрядного фотографування «Кірліограф» / Патент на корисну модель №148260, Україна, дата подання заявки 26.01.21, публікація відомостей 21.07.2021., Бюл. №29, 4 с.

157. Устройство для регистрации изображения Кирлиан свечения биологических объектов / Л.А. Песоцкая, О.П. Минцер, Н.В. Глухова // Патент Украины на полезную модель №100879 от 10.08.2015 г.. Бюл. №15.

158. Краснобрыжев В.Г. Способ и оборудование для модификации топлива. Sposób i urządzenie do modyfikacji paliwa / Патент Польши на полезную модель № 207357, дата подачи заявки 5.09.2006, опубл. 5.03.2007.

159. Глухова Н.В., Пісоцька Л.А. Статистичний аналіз параметрів яскравості випромінювання під час формування газових розрядів // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. –2021. - С. 102- 107.

160. Глухова Н.В., Пісоцька Л.А. Інформаційно-вимірювальна технологія оцінки біологічних характеристик води / Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» // м. Луцьк, грудень 2021р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2021. - С. 34 – 38. DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19.

161. Kuchuk N., Mohammed, A. S., Shyshatskyi, A. and Nalapko, O(2019). “The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization”. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 8. 1. 1–6, DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/0181.22019>.
162. Sova, O, Turinskyi, O., Shyshatskyi, A., Dudnyk, V., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Ye., Hurskyi, T., Hordiichuk, V., Nikitenko, A. and Remez, A (2020). “Development of an algorithm to train artificial neural networks for intelligent decision support systems”. 1, 9 (103). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.192711>.
163. Narendra, K. S. and Parthasarathy, K(1990). “Identification and control of dynamical systems using neural networks”. *IEEE Trans. on Neural Networks*. 4-26. DOI: 10.1109/72.80202.
164. Zhou, X., Zhuge, Q., Qiu, M., Xiang, M., Zhang, F., Wu, B., Qiu, K. and Plant D V(2018). “Bandwidth variable transceivers with artificial neural network-aided provisioning and capacity improvement capabilities in meshed optical networks with cascaded ROADM filtering. *Optics Communications*, 409, 23–33. DOI:10.1016/j.optcom.2017.09.021.
165. Бодянский Е. В., Струков В.М., Узлов Д.Ю (2017). “Обобщенная метрика в задаче анализа многомерных данных с разнотипными признаками”. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, 3(52), 98–101. <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/17760>.
166. Zhou, S., Yin, Z., Wu, Z., Chen, Y., Zhao, N. and Yang, Z(2019). “A robust modulation classification method using convolutional neural networks”. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 2019(1). 1–15. DOI 10.1186/s13634-019-0616-6.
167. Заграновская, А. В., Эйснер, Ю. Н(2017). Моделирование сценариев развития экономической ситуации на основе нечетких когнитивных карт. *Современная экономика: проблемы и решения*, 10 (94), 33–47. DOI: 10.17308/meps.2017.10/1754.
168. Симанков, В. С., Пулято, М. М(2013). Исследование методов когнитивного анализа. *Системный анализ, управление и обработка информации*, 13, 31–35.
169. Onykiy, B., Artamonov, A., Ananieva, A., Tretyakov, E., Pronicheva, L., Ionkina, K., Suslina, A(2016). *Agent Technologies for Polythematic Organizations Information-Analytical Support*. *Procedia Computer Science.*, 88, 336–340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.445>.
170. Ko Y.-C., Fujita, H(2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences.*, 486, 190–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>.
171. Çavdar, A. B., Ferhatosmanoğlu, N(2018). Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information. *Journal of Air*

Transport Management. 2018. Vol. 67. pp. 19–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.007>.

172. Shyshatskyi, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Ye., Trotsko, O. and Neroznak, Ye(2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 9, 4, 5583–5590 DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>.

173. Malik, S., Kumar, S (2017). “Optimized Phase Noise Compensation Technique using Neural Network. Indian Journal of Science and Technology”, 10(5), 1-6, DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i5/104348.

174. Zhang, D., Ding, W., Zhang, B., Xie, C., Li, H., Liu, C. and Han, J(2018). Automatic Modulation Classification Based on Deep Learning for Unmanned Aerial Vehicles. Sensors. 18(3):924. 1–15. DOI 10.3390/s18030924.

175. Zhyvotovskiy, R.M., Shyshatskyi, A.V. and Petruk S.N(2017). Structural-semantic model of communication channel. 4th International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PICS&T-2017). 10-13 October 2017. Kharkiv, Ukraine. 524 – 529. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246454.

176. Harding, J. L(2013). “Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges”. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XL-2/W1. 59–63. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-59-2013.

177. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A. and Váncza, J(2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. CIRP Annals. 68. 1. 471–474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>.

178. Тимчук С(2017). “Методика комплексної обробки інформації від технічних засобів моніторингу”. Траекторія Науки. Path of Science. 3, 3, 4.1–4.9. DOI: 10.22178/pos.20-4.

179. Технологічне забезпечення якості гнучких комутаційних структур: Монографія / І. Ш. Невлюдов, І. В. Боцман, В. В. Невлюдова, Є. А. Разумов-Фризюк. – Кривий ріг: КК НАУ, 2018. – 256 с.

180. Nevliudov I. Sh. Improvement of the commutation system for a mobile robot platform using polyimide structures / Nevliudov I., Zharikova I., Bronnikov A. // Eurasian scientific discussions. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference (May 8-10, 2022), Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. – 2022. – PP. 157-163.

181. Жарикова, И. В. Системологический подход при исследовании параметров РЭС / И. В. Жарикова, В. В. Невлюдова // Технология приборостроения. – 2014. – № 2. – С. 40-43.

182. Nevlyudov I. Systemological method of forecasting the electronic modules parameters / I. Nevlyudov, I. Botsman, V. Nevliudova // «Scientific practice: modern and classical research methods»: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference (Vol. 1), Boston, February 26, 2021. Boston-Vinnitsia: Primedia eLaunch & European Scientific Platform, 2021. – PP. 190-192.
183. Невлюдов И. Ш., Палагин В. А., Жарикова И. В. Метод подключения электронных компонентов к автоматизированным измерительным комплексам // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – 1(9). – С. 4-7.
184. Nevliudov I. Sh., Palagin V. A., Razumov-Frizjuk E. A., Zharikova I. V. MEMS Intellect Multiprobes Contacting Devices for Electrical Checking-up of Multilayers Commutative Boards and BGA/CSP Electronic Components. Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2012). September 14-17, 2012. Kharkov, Ukraine. PP. 483-485.
185. Невлюдов И. Ш. Розробка параметричної моделі гнучких комутаційних структур для дослідження механічних впливів на них / І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, І. В. Боцман, Н. П. Демська // XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»: матеріали конференції (Кременчук, 2-4 листопада 2018 р.). – Кременчук: КрНУ, 2018. – С. 141-143.
186. Невлюдов И. Ш. Проектирование многозондовых устройств для тестирования электронных компонентов с шариковыми выводами / И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин, Е. А. Разумов-Фризюк, И. В. Жарикова // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2016. – № 2-3. – С. 15-20.
187. V. Bortnikova, V. Yevsieiev, V. Beskorovainyi, I. Nevliudov, I. Botsman and S. Maksymova. Structural Parameters Influence on a Soft Robotic Manipulator Finger Bend Angle Simulation // 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), 2019. – PP. 35-38.
188. Стенд для динамічних випробувань гнучких комутаційних шлейфів та МЕМС-компонентів: патент № 108066 України на корисну модель: МПК G01M 7/02 (2006.01) / О. С. Боцман, І. В. Жарікова, В. В. Невлюдова, С. П. Новоселов та ін.; заявл. 12.02.2016; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. – 3 с.
189. Nevliudov I., Demska N., Palagin V., Nevlyudova V., Botsman I., and Kolesnyk K. Stiffness Matrix of MEMS on the Stress-Strain Method Basis // 2020 IEEE XVIth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Lviv, Ukraine, 2020, PP. 142-145.
190. Теплогидравлический расчет реакторов типа АСТ: Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Конструкция АЭС» для студентов специальности 0310. – Горький: ГПИ им. А.А. Жданова, 1984

191. Analysis on Inadvertent Operation of Decay Heat Removal System in NuScale Reactor Susyadia, Andi S. Ekariansyah , Hendro Tjahjono , D.T. Sony Tjahyanid Center for Nuclear Reactor Safety and Technology -BATAN Kawasan PUSPIPTK Gedung 80, Setu, Tangerang Selatan -15310, Indonesia
192. Chapter Five Reactor Coolant System and Connecting Systems: PART 2 - TIER 2, Revision 5 -July 2020, NuScale Power LLC. All Rights Reserved
193. Сборник формул по физике г. Саратов, ЛИЕН, кафедра физики, 2011 г.
194. Парогенераторные установки атомных электростанций: Учебник для студентов ВУЗов – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.
195. Программа расчета теплофизических свойств воды и водяного пара WaterSteamPro [Электронный ресурс]. –Режим доступа - <http://www.wsp.ru/>
196. Chapter One Introduction and General Description of the Plant: PART 2 - TIER 2, Revision 5 - July 2020, NuScale Power LLC. All Rights Reserved
197. Коэффициенты местного сопротивления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа - <http://thermalinfo.ru/eto-interesno/koeffitsienty-mestnogo-soprotivleniya>
198. Fuel Modelling at Extended Burnup», IAEA-TECDOC-998, 1998
199. NPP “KUDANKULAM” Unit 1,2. Topical report «Prediction of fuel rod performance per cycle: temperature field, FGP release, swelling» SE VNIINM, 2001
200. Khvostov, Grigori, Novikov, Vladimir, Medvedev, Anatoli, and Bogatyr, Serguey. Approaches to modeling of high burn-up structure and analysis of its effects on the behaviour of light water reactor fuels in the START-3 fuel performance code. Japan: N. p., 2005.
201. G. Khvostov, A. Medvedev, S. Bogatyr, “The dynamic model of grain boundary processes in high burn-up LWR fuel and its application in analysis by the START-3 code”, Paper to the International Conference on WWER Fuel Performance, Modeling and Experimental Support, Albena-Varna, Bulgaria, September 29 - October 3, 2003
202. Medvedev A.V., Khvostov G.V. et al. “Prospects of Extended Burn-up (65 MW.day/kgU) Reached in VVER Fuels” International Conference, Electrostal, Russia, 8-10, June, 2000.
203. Programme code START-3, Registration No 76, Certificate of 22.09.97.
204. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества: Справочник. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Политехника, 2004. – 412 с.
205. Пістун Є.П., Лесовой Л.В. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. – Львів: ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. –576 с.

206. ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009 (ИСО 5167-1:2003) Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 1. Принцип методу вимірювання та загальні вимоги (ГОСТ 8.586.1-2005, IDT; ISO 5167-1:2003, MOD) / Пістун Є.П., Лесовой Л.В. і ін. / [Чинний від 01.04.2010]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 98 с.– (Національний стандарт України).
207. ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2009 (ИСО 5167-2:2003). Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 2. Діафрагми. Технічні вимоги (ГОСТ 8.586.2-2005, IDT; ISO 5167-2:2003, MOD) / Пістун Є.П., Лесовой Л.В. і ін. / [Чинний від 01.04.2010]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 90 с.– (Національний стандарт України).
208. ДСТУ ГОСТ 8.586.3:2009 (ИСО 5167-3:2003). Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 3. Сопла та сопла Вентурі. Технічні вимоги (ГОСТ 8.586.3-2005, IDT; ISO 5167-3:2003, MOD) / Пістун Є.П., Лесовой Л.В. і ін. / [Чинний від 01.04.2010]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 68 с.– (Національний стандарт України).
209. ДСТУ ГОСТ 8.586.4:2009 (ИСО 5167-4:2003). Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини і газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 4. Труби Вентурі. Технічні вимоги (ГОСТ 8.586.4-2005, IDT; ISO 5167-4:2003, MOD) / Пістун Є.П., Лесовой Л.В. і ін. / [Чинний від 01.04.2010]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 53 с.– (Національний стандарт України).
210. ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 5. Методика виконання вимірювань (ГОСТ 8.586.5-2005, IDT) / Пістун Є.П., Лесовой Л.В. і ін. / [Чинний від 01.04.2010]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 196 с.– (Національний стандарт України).
211. ISO 5167-1:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full: part 1 - General principles and requirements. ISO, 2003. – 36 p.
212. ISO 5167-2:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full: part 2 - Orifice plates. ISO, 2003. – 52 p.
213. ISO 5167-3:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full: part 3 - Nozzles and Venturi nozzles. ISO, 2003. – 38 p.
214. ISO 5167-4:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full: part 4 - Venturi tubes. ISO, 2003. – 32 p.

215. ISO/TR 9464:2008 Guidelines for the use of ISO 5167:2003.
216. ISO/TR 12767:2007 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices — Guidelines on the effect of departure from the specifications and operating conditions given in ISO 5167.
217. Teysandier R.G. The effects of symmetric steps and gaps on orifice measurement, North Sea Flow Measurement Workshop, 1985.
218. Natural Gas Fluids Measurement, API MPMS Chapter 14, Section 3, Part 2- Specification and Installation Requirements, Third Edition, February 1991.
219. Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids, ANSI/API 2530, Second Edition.
220. В.О. Фединець, Я.П. Юсик, І.С. Васильківський. Аналіз похибок вимірювання температури контактними термоперетворювачами //Матеріали VI Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами», 20 листопада 2019 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 20.11.2019 р.- С.278. Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii> ISBN 978-966-612-234-9.
221. Moffat R. J. Gas Temperature Measurement / R. J. Moffat // “Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry”, Vol.III, Part 2. -N.Y.: Reinhold Publ. corp, 1962. – 321 p.
222. Вимірювання температури: теорія та практика / Луцик Я.Т., Гук О.П., Лах О.І., Стадник Б.І. – Львів: ”Бескид Біт”, 2006. – 560 с.
223. Optimization of Gas Dynamical Subsystem of Transducers for Measurement of Gas Flow Temperature/ Vasyl Fedynets, Ihor Vasykivskyi, Yaroslav Yusyuk// Energy Engineering End Control System - V.2- №2. –2016 P. 43 – 48.
224. Мінімізація складової похибки від теплообміну через випромінення під час вимірювання температури газових потоків/ Є.П. Пістун, В.О. Фединець//“ Метрологія та прилади” №6, 2010.-С.34-37.
225. Ярышев Н. А. Теоретические основы измерения нестационарных температур / Николай Алексеевич Ярышев. - Л.: Энергоатомиздат, 1990. - 254 с.
226. IEC 60584-1:2013. Thermocouples – Part 1: EMF specifications and tolerance Maintenance Result Date.
227. Huang, lx, mujumdar, as, 2006. Numerical study of two-stage horizontal spray dryers using computational fluid dynamics. Drying technology 24, 727–733.
228. H. Jubaer, p. Afshar, j. Xiao, xd chen, c. Selomulya, mw woo, on the effect of turbulence models on cfd simulations of a counter-current spray drying process, chem. Eng. Res. Des., 141 (2019) 592-607.

229. Ansys® fluent, help system, ansys fluent theory guide, release 2020 r2, ansys, inc., Usa, 2020
230. Y. Jin, xd chen, numerical study of the drying process of different sized particles in an industrial-scale spray dryer, *drying technol.*, 27 (2009) 371-381.
231. Xingkai zhang, dong wangc, ruiquan liao, hui zhaoa, baocheng shia, study of mechanical choked venturi nozzles used for liquid flow controlling, *flow measurement and instrumentation* 65 (2019) 158–165.
232. Anshul singhal, mallika parveen, member, iaeng, air flow optimization via a venturi type air restrictor, *proceedings of the world congress on engineering 2013 vol iii*, wce 2013, july 3 - 5, 2013, london, uk
233. Landau L. D., Lifshitz EM - theoretical physics (volume 6. Hydrodynamics). Chapter x. One-dimensional movement of the compressed gas. § 97. Leakage of gas through the nozzle.
234. *Technical thermodynamics: a textbook for universities* / ed. You. cool, - m.: high school. 1981. - 439 p.
235. YA Cengel, ma boles, *thermodynamics: an engineering approach*, 4th ed., McGraw-hill companies, inc., New Jersey, 2002, pp. 774–808.
236. F. White, *fluid mechanics*, 5th ed., McGraw-hill, boston, ma, 2003, pp. 599–632.
237. EM betts, r. Frederick, a historical systems study of liquid rocket engine throttling capabilities, *aiaa paper*, nashville, tn, 2010, p. 863.
238. S. Brinkhorst, ev lavante, g. Wendt, numerical investigation of effects of geometry on cavitation in herschel venturi-tubes applied to liquid flow metering, in: *proceedings of the international symposium on fluid flow measurement publications*, 2015.
239. Standard b, iso b. *Measurement of gas flow by means of critical flow venturi nozzles*, 2005.
240. Niedzwiedzka, w. Sobieski, experimental investigations of cavitation of cavitating flows in a venturi tube, *tech. Sci.* 19 (2) (2016) 151–164.
241. CT hsiao, j. Ma, gl chahine, multiscale two-phase flow modeling of sheet and cloud cavitation, *int. J. Multiph. Flow.* (2017) 90.
242. S. Brinkhorst, ev lavante, experimental and numerical investigation of the cavitation-induced choked flow in a herschel venturi-tube, *flow. Meas. Instrum.* 54 (2017) 56–67.
243. X. Long, h. Yao, j. Zhao, investigation on mechanism of critical cavitating flow in liquid jet pumps under operating limits [j], *int. J. Heat. Mass transf.* 52 (9) (2009) 2415–2420.

244. J. Liu, j. Chen, z. Chen, critical flashing flow in convergent – divergent nozzles with initially subcooled liquid, *int. J. Therm. Sci.* 47 (8) (2008) 1069–1076.
245. JL Mena, MA Ingle, v. Shirsat, et al., An investigation of a cavitating venturi flow control feature in a cryogenic propellant delivery system, *flow. Meas. Instrum.* (2014).
246. H. Tian, p. Zeng, n. Yu, et al, Application of variable area cavitating venturi as a dynamic flow controller, *flow. Meas. Instrum.* 38 (2014) 21–26.
247. P. Rudolf, d. Kubina, j. Kozak, et al. Dynamics of the cavitating fl flow downstream of the ori fi ce plate, in: proceedings of the meeting of departments of fluid mechanics and thermodynamics: 020033, 2017.NUFT,
248. Thesis project «09-3077.ДП.04.000.ПЗ»ЗМСК-6, 2015.
249. Laval nozzles - theory, principle of operation <https://bit.ly/3cFQnCO>
250. Ловягін О.М. Забезпечення стійкості лікєро-горілчаної продукції на етапі водопідготовки. О.М. Ловягін, Л.О. Шевченко, І.В. Скуратова, В.П. Ковальчук. Вода і водоочисні технології. 2007. № 2. С. 29–33.
251. Кузьмин, О.В., Топольник, В.Г., Ловягин, А.Н., Кузьмин, В.В. (2011). Водка: технология, качество, инновации: монография, Донецк, 307. (ДонНУЭТ имени Михаила Туган-Барановского, ISBN 978-966-385-237-9
252. Ковальчук В.П., Олійник С.І. Нормування якості підготовленої води для лікєрогорілчаного виробництва. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. Одеса: Міністерство освіти і науки України, 2007. Вип. 31. Т.1. С. 215–217
253. Шиян, П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія [Текст] / П.Л.Шиян, В.В.Сосніцький, С.Т.Олійнічук. – К.: Асканія, 2009. - 424 с
254. Ли Э. Спиртные напитки: особенности брожения и производства / Э. Ли, Дж. Пигготт (ред.); пер. с англ. под общ. ред. А.Л. Панасюка. СПб.: Профессия, 2006. 552 с.
255. Абрамова И.М., Поляков В.А., Савельева В.Б., Воробьева Т.Г., Сурин И.М. Влияние органических микропримесей на органические показатели пищевого ректификованного спирта. Производство спирта и ликероводочных изделий. 2006. №2. С. 24–26
256. Никитина С.Ю., Дячкина А.Б. О повышении качества ректификованного спирта. Ликероводочное производство и виноделие. 2006. №6. С. 8–9.
257. Нагурна Н.А. Головченко В.М., Буряков В.Г. Природа домішок етилового спирту та засоби регулювання хімічних і сенсорних характеристик спирту. Харчова наука і технологія. 2011. № 3. С. 65-68.

258. Моисеенко В.С. Дячкина А.Б., Грачева О.В. Образование высших спиртов в ходе метаболизма дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Производство спирта и ликероводочных изделий. 2004. № 1. С. 11-13
259. Сиюхов Х.Р. Высшие спирты и проблемы технологии производства пищевого спирта. Новые технологии. 2009. №1. С. 26-32
260. Рудаков О.Б., Никитина С.Ю. Тренды в аналитическом контроле качества питьевого этанола. Аналитика и контроль. 2017. Т. 21, № 3. С. 180-196
261. Health effects of the Chernobyl accident and special health care program. Report of the UN Chernobyl Forum. Expert Group "Health". Ed. by Burton Bennett, Michael Repacholi, Zhanat Carr. Geneva, 2006.
262. Oh, J.Y., Fernando, I.P.S., Jeon, Y.J. Potential applications of radioprotective phytochemicals from marine algae. *Algae*. 2016. Vol. 31(4). P. 403– 414. <https://doi.org/10.4490/algae.2016.31.12.1>.
263. Smith, T.A., Kirkpatrick, D.B., Smith, S. et al. Radioprotective agents to prevent cellular damage due to ionizing radiation. *Journal of Translational Medicine*. 2017. Vol. 15. P. 232. <https://doi.org/10.1186/s12967-017-1338-x>.
264. Zakariya, N.I., Kahn, M.T.E. Benefits and biological effects of ionizing radiation. *Scholars Academic Journal of Biosciences*. 2014. Vol. 2. P. 583–591. https://www.researchgate.net/publication/329557937_Review_Article_Benefits_and_Biological_Effects_of_Ionizing_Radiation
265. Сімахіна Г.О., Стеценко Н.О., Науменко Н.В. Біологічно активні речовини в харчових технологіях: підручник. Київ: НУХТ, 2016. 455 с.
266. Simakhina, G.O., Naumenko, N.V. Antioxidant Effectiveness of Plant Cultures. *Ukrainian Food Journal*. 2021. Vol. 10. Issue 1. P. 62-77.
267. Корзун В.Н., Сагло В.І., Парац А.М. Харчування в умовах широкомасштабної аварії та її наслідків. *Український медичний часопис*. 2002. №11-12. С. 99-105.
268. Українець А.І., Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Перспективні технологічні процеси виробництва нових продуктів та дієтичних добавок: підручник. Київ: НУХТ, 2018. 335 с.
269. Баштан В.П., Почерняева В.Ф., Жукова Т.А., Васько Л.Н., Лымарь Л.А. Средства защиты организма от действия ионизирующего излучения. Полтава, 2016. 135 с. URL: http://elib.umsa.edu.ua/jspui/bitstream/umsa/2573/1/Sredstva_zaschiti_organizma.pdf
270. Корзун В.Н., Недоуров С.И. Радиация: защита населения. Киев: Наукова думка, 1995. 112 с.

271. Jae-Young, O., Shanura Fernando, I.P., Jeon, Y. Potential applications of radioprotective phytochemicals from marine algae. *Algae*. 2016. Vol. 31(4). P. 403–414.
272. Toor, R.K., Savage, G.P., Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chem*. 2006. Vol. 99 (4). P. 724–727.
273. Simakhina G., Naunemko R. Using the Non-Traditional Raw Materials to Create the Food Fiber Complexes. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Universum View-11"*, Вінниця: ТОВ "Нілан-ЛТД", 2018. С. 6–9.
274. Смульский С.П. и др. Взаимодействие антоцианов винограда с слоями тяжелых металлов и пектинов и получение пищевых продуктов с радиозащитным действием. *Медико-биологические аспекты разработки продуктов питания*. Киев: НИИ гигиены питания, 1993. С. 54–69.
275. Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Технологія оздоровчих харчових продуктів: підручник. Київ: НУХТ, 2015. 405 с.
276. Шумова Г. С., Георгіянц В. А., Євтіфєєва О. А. Розробка методики кількісного визначення флавоноїдів різних видів лікарської рослинної сировини спектрофотометричним методом та визначення її валідаційних характеристик. *Фітотерапія. Часопис*. 2013. № 2. С. 48–52.
277. Сімахіна Г.О., Межубовський О.М., Науменко Н.В. Створення композицій радіопротекторної дії для захисту організму людини від малих доз іонізуючої радіації. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Т. 27, №5. С. 123–133.
278. Шишацький А. В. Башкиров О. М., Костина О. М. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил. // *Науково-технічний журнал "Озброєння та військова техніка"*. 2015. № 1(5). С. 35 –40.
279. Тимчук С. Методика комплексної обробки інформації від технічних засобів моніторингу. *Traektoriâ Nauki. Path of Science*. 2017. Vol. 3. No 3. pp. 4.1–4.9. DOI: 10.22178/pos.20-4
280. Соколов К. О., Гудима О. П., Ткаченко В. А., Шиятий О. Б. Основні напрями створення ІТ-інфраструктури Міністерства оборони України. // *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень*. 2015, Вип. 3(6), С. 26–30.
281. Шевченко Д. Г. Сукупність показників ефективності функціонування системи кібербезпеки в інформаційно-телекомунікаційних мережах Збройних Сил України. // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Том 38, № 2 2020. С. 57–62. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-38-2-57-62>.
282. Макаренко С. И. Перспективы и проблемные вопросы развития сетей связи специального назначения // *Системы управления, связи и безопасности*. 2017. № 2. С. 18-68. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/02-Makarenko.pdf>

283. P. Zuiev, R. Zhyvotovskiy, O. Zvieriev, S. Hatsenko, V. Kuprii, O. Nakonechnyi, M. Adamenko, A. Shyshatskyi, Y. Neroznak, V. Velychko. Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. 2020, Vol. 4, No. 9 (106), pp. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
284. Brownlee, J. *Clever algorithms: nature-inspired programming recipes* / J. Brownlee. 2011. 441 pp.
285. Гороховатський В., Стяглик Н., Царевська В. Комбінаційний метод прискороного метричного пошуку даних у задачах класифікації зображень. // Сучасні інформаційні системи. 2021. Том 5, № 3, с. 5–12. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
286. Meleshko, Y., Drieiev, O., Drieieva, H. Метод ідентифікації профілів ботів на основі нейронних мереж у рекомендаційних системах. Сучасні інформаційні системи, Том 4, № 2, с. 24–28. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
287. В. А. Рыбак, Ш. Ахмад. Аналитический обзор и сравнение существующих технологий поддержки принятия решений. Системный анализ и прикладная информатика. 2016. №3. С.12–18.
288. L. Tao. ZTE steps up 5G network gear deployment overseas as capital spending in China is set to decline. South China Morning Post, Oct. 29, 2019. [Online]. URL: <https://www.scmp.com/tech/gear/article/3035254/zte-steps-5g-network-gear-deployment-overseas-capital-spending-china-set> (21.05.2020).
289. E. Feng, A. Cheng. China's tech giant Huawei spans much of the globe despite U.S. efforts to ban it. NPR, Oct. 24, 2019. [Online]. URL: <https://www.npr.org/2019/10/24/759902041/chinas-tech-giant-huawei-spans-much-of-the-globe-despite-u-s-efforts-to-ban-it> (21.05.2020).
290. E. Kania, L. Sheppard. Why Huawei is not so scary foreign policy, Oct. 12, 2019. [Online]. URL: <https://foreignpolicy.com/2019/10/12/huawei-china-5g-race-technology/> (21.05.2020).
291. Fellini, S., Salizzoni, P. & Ridolfi, L. Vulnerability of cities to toxic airborne releases is written in their topology. *Sci Rep* 11, 23029 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02403-y>
292. Cao, Y., Wang, Y., Yu, Z. et al. Spatio-temporal distribution of gaseous pollutants from multiple sources in industrial buildings with different flow patterns. *Build. Simul.* 15, 1629–1644 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12273-022-0886-z>
293. Ji, S., Ma, S. The effects of industrial pollution on ecosystem service value: a case study in a heavy industrial area, China. *Environ Dev Sustain* 24, 6804–6833 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01728-y>
294. Bera, D., Kumar, P., Siddiqui, A. et al. Assessing impact of urbanisation on surface runoff using vegetation-impervious surface-soil (V-I-S) fraction and NRCS

- curve number (CN) model. *Model. Earth Syst. Environ.* 8, 309–322 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01079-z>
295. Choudhury, M., Jyethi, D.S., Dutta, J. et al. Investigation of groundwater and soil quality near to a municipal waste disposal site in Silchar, Assam, India. *Int J Energ Water Res* 6, 37–47 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42108-021-00117-5>
296. Molina-Peñate, E., Artola, A. & Sánchez, A. Organic municipal waste as feedstock for biorefineries: bioconversion technologies integration and challenges. *Rev Environ Sci Biotechnol* 21, 247–267 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09605-w>
297. Frantzeskaki, N., Oke, C., Barnett, G. et al. A transformative mission for prioritising nature in Australian cities. *Ambio* 51, 1433–1445 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01725-z>
298. Hou, C., Chen, H. & Long, R. Coupling and coordination of China's economy, ecological environment and health from a green production perspective. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 19, 4087–4106 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03329-8>
299. Ammendolia J, Saturno J, Brooks AL, Jacobs S, Jambeck JR. An emerging source of plastic pollution: Environmental presence of plastic personal protective equipment (PPE) debris related to COVID-19 in a metropolitan city. *Environ Pollut.* (2021);269:116160. doi:10.1016/j.envpol.2020.116160
300. Polat, E.G. Medical waste management during coronavirus disease 2019 pandemic at the city level. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 19, 3907–3918 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03748-7>
301. Kutralam-Muniasamy G, Pérez-Guevara F, Shruti VC. A critical synthesis of current peer-reviewed literature on the environmental and human health impacts of COVID-19 PPE litter: New findings and next steps. *J Hazard Mater.* 2022;422:126945. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.126945
302. Haddad MB, De-la-Torre GE, Abelouah MR, Hajji S, Alla AA. Personal protective equipment (PPE) pollution associated with the COVID-19 pandemic along the coastline of Agadir, Morocco. *Sci Total Environ.* 2021;798:149282. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149282
303. Nitasha Khatri & Sanjiv Tyagi (2015) Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas, *Frontiers in Life Science*, 8:1, 23-39, DOI: 10.1080/21553769.2014.933716
304. Yang, S., Liang, M., Qin, Z. et al. A novel assessment considering spatial and temporal variations of water quality to identify pollution sources in urban rivers. *Sci Rep* 11, 8714 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87671-4>
305. Strelets, V., Loboichenko, V., Leonova, N., Shevchenko, R., Telelim, V., Strelets, V. ... Burmenko, O. (2022). Analysis of the Influence of Anthropogenic Factors of the Urbanized Territory of Poltava Region (Ukraine) on the State of River Water.

Ecological Engineering & Environmental Technology, 23(2), 185-192.
<https://doi.org/10.12912/27197050/146019>

306. Yang, J., Lv, J., Liu, Q. et al. Seasonal and spatial patterns of eukaryotic phytoplankton communities in an urban river based on marker gene. *Sci Rep* 11, 23147 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02183-5>

307. Bhat, S.U., Dar, S.A. & Hamid, A. A critical appraisal of the status and hydrogeochemical characteristics of freshwater springs in Kashmir Valley. *Sci Rep* 12, 5817 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09906-2>

308. Loboichenko V., Zakomorna K., Ilinskyi O., Leonova N., Malko A., Shevchenko R. Investigation of the Content of Heavy Metals in Water Sources of Kharkiv City, Ukraine. *Current applied science and technology*. *Current applied science and technology*. 2022, 22(2):1-14

309. Hou, Y., Zhang, A., Lv, R. et al. A study on water quality parameters estimation for urban rivers based on ground hyperspectral remote sensing technology. *Environ Sci Pollut Res* (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20293-z>

310. Rashkevich, N., Shevchenko, R., Khmyrov, I., Soshinskiy, A. Investigation of the influence of the physical properties of landfill soils on the stability of slopes in the context of solving civil security problems. *Materials Science Forum*, 2021, 1038 MSF, 407–416

311. Popov O., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M., Pomaza-Ponomarenko A. Emergencies at Potentially Dangerous Objects Causing Atmosphere Pollution: Peculiarities of Chemically Hazardous Substances Migration. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 298. P. 151–163. URL:https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85088381502&doi=10.1007%2f978-3-030-48583-2_10&partnerID=40&md5=DOI:10.1007/978-3-030-48583-2_10

312. Kustov M., Slepuzhnikov E., Lipovoy V., Khmyrov I., Firdovsi D., Buskin O. Procedure for implementation of the method of artificial deposition of radioactive substances from the atmosphere. *Nuclear and Radiation Safety*. 2019. Vol. 3, No. 83. P. 13–25. URL:[https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85084856383&doi=10.32918%2fnrs.2019.3%2883%29.02&partnerID=40&DOI:10.32918/nrs.2019.3\(83\).02](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85084856383&doi=10.32918%2fnrs.2019.3%2883%29.02&partnerID=40&DOI:10.32918/nrs.2019.3(83).02)

313. Abramov Y., Basmanov O., Salamov J., Mikhayluk A. Model of thermal effect of fire within a dike on the oil tank. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. Vol. 2. P. 95–100. URL:<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85047843885&doi=10.29202%2fnvngu%2f2018-2%2f12&partnerID=40&md5=DOI:10.29202/nvngu/2018-2/12>

314. Waste released into Vistula. Serious malfunction at "Czajka" sewage treatment plant. URL: <https://www.tvn24.pl/tvn24-news-in-english,157,m/poland-accident-in>

sewage-treatment-plant-waste-released-into-vistula,964916.html (дата звернення 25/04/2022)

315. Water pollution from a cyanide spill in Eastern Europe. URL: https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/fiche_detaillee/17265_en/?lang=en (дата звернення 25/04/2022)

316. Csagoly P. (Ed.) The Cyanide Spill at Baia Mare, Romania. Before, during and after. UNEP/OCHA Report on the Cyanide Spill at Baia Mare, Romania. The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe, June 2000. 8 p.

317. Mesta, C., Cremen, G. & Galasso, C. Urban growth modelling and social vulnerability assessment for a hazardous Kathmandu Valley. *Sci Rep* 12, 6152 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09347-x>

318. Hamel, P., Tan, L. Blue–Green Infrastructure for Flood and Water Quality Management in Southeast Asia: Evidence and Knowledge Gaps. *Environmental Management* 69, 699–718 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01467-w>

319. Bross, L.; Krause, S.; Wannewitz, M.; Stock, E.; Sandholz, S.; Wienand, I. Insecure Security: Emergency Water Supply and Minimum Standards in Countries with a High Supply Reliability. *Water* 2019, 11, 732. <https://doi.org/10.3390/w11040732>

320. B. Samuels, W., Bahadur, R. (2006). An integrated water quality security system for emergency response. In: Pollert, J., Dedus, B. (eds) *Security of Water Supply Systems: from Source to Tap*. NATO Security through Science Series, vol 8. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4564-6_9

321. United Nations Environment Programme. *STORY DISASTERS & CONFLICTS*. Environmental legacy of Explosive Weapons in Populated Areas. 05 NOV 2021. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/environmental-legacy-explosive-weapons-populated-areas>.

322. Conflict and Environment Observatory. How does war damage the environment? June 4, 2020. <https://ceobs.org/how-does-war-damage-the-environment/>

323. Conflict and Environment Observatory. Ukraine invasion: rapid overview of environmental issues. February 25, 2022. <https://ceobs.org/ukraine-invasion-rapid-overview-of-environmental-issues/>

324. Hasab, H.A., Jawad, H.A., Dibs, H. et al. Evaluation of Water Quality Parameters in Marshes Zone Southern of Iraq Based on Remote Sensing and GIS Techniques. *Water Air Soil Pollut* 231, 183 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04531-z>

325. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. – К.: ВАІТЕ, 2017. - 88 с.

326. Війна на Донбасі: Реалії і перспективи врегулювання. Центр Разумкова. Київ.2019. https://razumkov.org.ua/uploads/article/2019_Donbas.pdf

327. Schillinger, J, Özerol, G, Güven-Griemert, Ş, Heldeweg, M. Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water*. 2020; 7:e1480. <https://doi.org/10.1002/wat2.1480>
328. Ivanov, E. V.; Loboichenko, V. M.; Artemiev, S. R.; Vasyukov, A. E. Emergency Situations With Explosions of Ammunition: Patterns of Occurrence and Progress. *EEJET* 2016, 1, 26-35.
329. E.V. Ivanov, A.E. Vasyukov On structure and amount of gases at explosion of ammunition in warehouses. Message 1. Cartridges for small arms. Problems of emergency situations. 2015. 21, 30 - 37. (in Ukrainian)
330. Azarov S.I., Palamarchuk VI., Sydorenko V.L., Risk assessment for population, which uses drinking water after damage on ammunition dump. Scientific journal "Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University". 2010. 5/2010 part 1 (64), 141 – 144. (in Ukrainian)
331. Azarov SI, Sidorenko VL, Bykova OV, Eremenko SA. Assessment of potential risks of contaminated food population in areas combustion by accident ammunition . *VISNIK KhNTUA*. 2011, 107 (2), 309 – 316. (in Ukrainian)
332. Sidorenko VL , Azarov SI, Assessment of potential risk from art warehouse accident. *Environmental Safety*. 2010, 1/2010(9), 52 – 56. (in Ukrainian)
333. Loboichenko V. Development of the procedure of identification of hazardous factors at low-tonnage chemical production objects. *Problems of emergency situations*. 2019. № 2(30). 176-186. (in Ukrainian)
334. Loboichenko V. Formation of a method for the prerequisites identification of the expansion of emergencies due to the accumulation of harmful substances at chemical objects. *Municipal Economy of Cities*, 2020, 1(154), 298-305. (in Ukrainian)
335. Loboichenko, V., Strelec, V. (2018). The natural waters and aqueous solutions express-identification as element of determination of possible emergency situation. *Water and Energy International*, 61 (9), 43–50. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10156>
336. Стремление к нулю: высокие задачи и системный подход к безопасности движения. Центр транспортных исследований ОЭСР. 2008. URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/08towardszeroru.pdf> (дата звернення: 13.05.2020).
337. Украина ежегодно теряет \$4,5 млрд. из-за ДТП. 2017. URL: https://ru.espresso.tv/news/2017/06/16/ukrayna_ezhegodno_teryaet_4/_5_mlrd_yz_za_dtp_vsemyrnyy_bank (дата звернення: 13.05.2020).
338. Безпека на дорозі стосується кожного. В Україні стартував тиждень безпеки дорожнього руху ООН. 2017. URL: <http://moz.gov.ua/article/news/bezpeka-na-dorozhni-stosuetsja-kozhnogo-v-ukraini-startuvav-tizhden-bezpeki-dorozhnogo-ruhu-oon> (дата звернення: 13.05.2020).

339. Безпека на дорозі стосується кожного. 2017. URL: https://24tv.ua/ru/ne_polihachish_avtomobili_samostojatelno_nachnut_sobljudat_ogranichenija_skorosti_n883297 (дата звернення: 13.05.2020).
340. ЕС намерен еще больше ужесточить стандарты по автомобилям. 2017. URL: <http://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=40182> (дата звернення: 14.05.2020).
341. Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов. 2017. URL: <https://www.labadr.com.ua/Sprav/zakonodtelstvo/adr/> (дата звернення: 14.05.2020).
342. Устройство ограничения скорости. 2017. URL: <http://catadr.com.ua/ustanovka-ustrojstva-ogranicheniya-skorosti> (дата звернення: 14.05.2020).
343. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцев А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння. Т. 3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ. Харків, 2005. 344 с.
344. Симбірський Г. Д. Інформаційна технологія дистанційного примусового обмеження швидкості транспортних засобів для підвищення безпеки дорожнього руху. Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. Харків, 2020. Вип. 17. С. 54-62.
345. Zhang, H., Liu, M. (2012). Dense gas–particle flow in vertical channel by multi–lattice trajectory model. «Science in China» Series E: Technological Sciences, vol. 55, no. 2, 542–554. doi: <https://doi.org/10.1007/s11431-011-4578-7>
346. Marlene Silva de Moraes, (2017). Experimental quantification of the head loss coefficient K for fittings and semi–industrial pipe cross section solid concentration profile in pneumatic conveying of polypropylene pellets in dilute phase. Powder Technology, 250–263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.039>
347. Dychka I., Sulema Ye., Bukhtiiarov Iu.(2019). Digital Twin Information Technology for Biomedical Data Complex Representation and Processing. Visnik Hersons'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu, № 3 (70), R. 112–119.
348. Transport und Sedimentation von Partikeln in Technologien zur Verarbeitung disperser Materialien: Monographie. / M.V. Vasilevsky, V.I. Romandin, E.G. Zykov. - Tomsk: Tomsk Polytechnic University Press, 2013. - 288 S.
349. Gavva, O., Kryvoplias–Volodina, L. (2017). Structuralparametric synthesis of hydro–mechanical drive of hoisting and lowering mechanism of package–forming machines. Eastern–European Journal of Enterprise Technologies, 5/7 (89), 39–44. doi: [10.15587/1729-4061.2017.111552](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111552)

350. Donovan, R. C. A Theoretical Melting Model for Plasticating Extruders // *Polymer Engineering and Science*. 1971. Vol. 11, N 3. P. 247—257. doi: 10.1002/pen.760110313
351. Zhang, P., Roberts, R. M. & Bénard, A. (2012), ‘Computational guidelines and an empirical model for particle deposition in curved pipes using an eulerian-lagrangian approach’, *Journal of Aerosol Science* 53(Supplement C), 1–20. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850212000997>
352. Rohrig, R., Jakirlic, S. & Tropea, C. (2015), ‘Comparative computational study of turbulent flow in a 90 pipe elbow’, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 55, 120–131.
353. K. Li, S. B. Kuang, R. H. Pan, and A. B. Yu, “Numerical study of horizontal pneumatic conveying: effect of material properties,” *Powder Technology*, vol. 251, pp. 15–24, 2014.
354. Bogdanov, V.S. Research of influence of the main parameters on the capability of the pneumatic chamber pump with multijet aeration unit / V.S. Bogdanov, S.Yu. Lozovaya, Yu.M. Fadin, A.V. Gavrilenko // *International Journal of Pharmacy & Technology*. – Vol. 8, no.4. – Dec-2016. – R. 24669-24680.
355. H. Zhang, M. Liu, B. Wang, and X. Wang, “Dense gas-particle flow in vertical channel by multi-lattice trajectory model,” *Science in China Series E: Technological Sciences*, vol. 55, no. 2, pp. 542–554, 2012. doi: <https://doi.org/10.1007/s11431-011-4578-7>
356. Raheman, Hifjur & Jindal, V. (2001). Solid velocity estimation in vertical pneumatic conveying of agricultural grains. *Applied Engineering in Agriculture*, 7, 233–245. doi: 10.13031/2013.6903
357. Lu C.-S. *Multimedia Security: Steganography and Digital Watermarking Techniques for Protection of Intellectual Property*. Idea Group Inc (IGI), 2004. 268 p.
358. Rubio-Tamayo J. L., Gertrudix B. M., García G. F. *Immersive Environments and Virtual Reality: Systematic Review and Advances in Communication, Interaction and Simulation*. *Multimodal Technologies Interaction*, 2017. Vol. 1 (4), 21 p.
359. Bozzelli L. et al. Interval vs. Point Temporal Logic Model Checking: an Expressiveness Comparison. *ACM Transactions on Computational Logic*, 2019. Vol. 1, Article 4, 31 p.
360. Kril', S.I., Chal'cev, M.N. (2010). K voprosu o metodikah rascheta osnovnyh parametrov pnevmotransporta sypuchih materialov po gorizontalnym trubam. *Prikladnaya gidromekhanika*. T. 12, № 4, 36–44.
361. Gyenis, Arva, J., (1994). Steady state particle flow in mixer tubes equipped with motionless mixer elements. In: Tatterson, G.B., Calabrese, R.V., Penney, W.R. (eds.) *Industrial Mixing Technology*, AICHE Symposium, Series 90, 144–156.

362. Orozovica, A., Lavrineca, A. (2020). Transport boundaries and prediction of the slug velocity and layer fraction in horizontal slug flow pneumatic conveying. *Chemical Engineering Science*, Volume 227, 247–257.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115916>

363. Zhang, P., Roberts, R.M. & Bénard, A. (2012). Computational guidelines and an empirical model for particle deposition in curved pipes using an eulerian–lagrangian approach. *Journal of Aerosol Science* 53(Supplement C), 1–20.

URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850212000997>

364. Rohrig, R., Jakirlic, S. & Tropea, C. (2015). Comparative computational study of turbulent flow in a 90 pipe elbow. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 55, 120–131. doi:10.1016/j.ijheatfluidflow.2015.07.011

365. Li K., Kuang S. B., Pan R. H. (2014). Numerical study of horizontal pneumatic conveying: effect of material properties, *Powder Technology*, vol. 251, 15–24. doi: 10.1016/j.powtec.2013.10.013

366. Yang, D. L., Li J. P., Du C. L. (2015). Injection performance of a gas–solid injector based on the particle trajectory model. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 23, 34.

URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/c9b8/2cfff90a014d0327e7c6f56364b7c7f3234a.pdf>

367. Gavva, O., Kryvoplias-Volodina, L. (2017). Structural parametrics ynthesis of hydro–mechanical drive of hoisting and lowering mechanism of package–forming machines. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, 5/7 (89), 39–44. doi: 10.15587/1729–4061.2017.111552

368. Vasilevskij, M.V., Romandin, V.I., (2013). *Transportirovka i osazhdenie chastic v tekhnologiyah pererabotki dispersnyh materialov: monografiya*. Tomsk: Izd–vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 288.

369. Shishkin, S.F., Gavrilyuk, D.N. (2009). Raschyot vysokonapornogo pnevmotransporta. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*. № 3, 114–117.

370. Berger, S.A., Talbot, L. (2003). Flow in curved pipes. *Annu. Rev. Fluid Mech*, 15, 461–512. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.fl.15.010183.002333>

371. Hasan Ghafari (2018). Numerical and experimental study of an innovative pipeline design in a granular pneumatic–conveying system *Particuology*, Volume 38, June 2018, 196–203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2017.07.007>

372. Marlene Silvade Moraes, (2017). Experimental quantification of the headloss coefficient K for fitting sand semi–industrial pipe cross section solid concentration profile in pneumatic conveying of polypropylene pellets in dilute phase. *Powder Technology*, 250–263.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.039>

373. Rajan, K.S. (2008). Experimental study of thermal effectiveness in pneumatic conveying heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*. Volume 28, Issues 14–15, October 2008, 1932–1941.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.12.004>

374. Zhang, H., Liu, M. (2012). Densegas–particle flow in vertical channel by multi–lattice trajectory model. «*Science in China*» Series E: Technological Sciences, vol. 55, no. 2, 542–554. doi: <https://doi.org/10.1007/s11431-011-4578-7>

375. Pressure and temperature influence on the friction coefficient of granular polymeric materials on the metal surfaces / V. Vytvytskyi, I. Mikulionok, O. Sokolskyi, O. Gavva // *Ukrainian Food Journal*. –Ukraina, V.6, Is. 3. – 2017. – r.452-462. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26698>

376. Kryvoplyas-Volodina L., Gavva O., Volodin S., Hnativ T. Dynamics of mechatronic function modules drives of flow technological lines in food production. *Ukrainian Food Journal*. Kyiv, Ukraine. 2018. Vol. 7 (Issue 4). R.650-661. <http://ufj.ho.ua/Archiv/UKRAINIAN%20FOOD%20JOURNAL%202018%20V.7%20Is.4.pdf>

377. Zhang J., France P., Radomyselskiy A., Datta S., Zhao J., Ooij W.V. Hydrophobic cotton fabric coated by a thin nanoparticulate plasma film. *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. Vol. 88. P. 1473–1481.

378. Kathiervelu S. S. Applications of nanotechnology in fibre finishing. *Synthetic Fibres*. 2003. Vol. 32. P. 20–22.

379. Wang C. C., Chen C. C. Physical properties of cross–linked cellulose catalyzed with nano titanium dioxide. 2005. *J. Appl. Polym. Sci.* Vol. 97. P. 2450–2456.

380. Кричевский Г. Е. Химические, нано–, био–, инфо, когнитивные технологии двойного назначения в производстве нового поколения волокон, текстиля и одежды. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2011/khimicheskie-nano-bio-info-kognitivnye-tekhnologii-dvoynogo-naznacheniya-v-proizvodstv>.

381. Галик І. С., Семак Б. Д. Використання нанотехнологій у формуванні асортименту та якості текстилю. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2013. № 4. С. 108–113.

382. Liu K. Scratch–resistant, highly conductive, and high–strength carbon nanotube–based composite yarn. *ACS Nano*. 2010. Vol. 4. P. 5827–5834.

383. Lima M. D. Electrically, chemically, and photonically powered torsional and tensile actuation of hybrid carbon nanotube yarn uscles. *Science*. 2012. Vol. 338. P. 928–932.

384. Qiu J. Liquid infiltration into carbon nanotube fibers: Effect on structure and electrical properties. *ACS Nano*. 2013. Vol. 7. P. 8412–8422.

385. Галик І. С., Семак Б. Д. Використання нанотехнологій для захисту текстилю від шкідливих мікроорганізмів. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2014. № 4 (51). С. 59–64.
386. Castano L. M., Flatau A. B. Smart fabric sensors and e-textile technologies: a review. *Smart Mater Struct.* 2014. Vol. 3 (5). DOI: 10.1088/0964-1726/23/5/053001.
387. Holme I. Innovative technologies for high performance textiles. *Color Technol.* 2007. Vol. 123 (2). P. 59–73.
388. Perepelkin K. E. Principles and methods of modification of fibres and fibre materials. A review. *Fibre Chem.* 2005. Volume 37 (2). P. 123–140.
389. El-Gabry L. K., Allam O. G., Hakeim O. A. Surface functionalization of viscose and polyester fabrics toward antibacterial and coloration properties. *Carbohydr Polym.* 2013. Vol. 92. P. 353–359. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.08.108.
390. Farouk A., Moussa S., Ulbricht M., Schollmeyer E., Textor T. ZnO-modified hybrid polymers as an antibacterial finish for textiles. *Text Res J.* 2014. Vol. 84 (1). P. 40–51.
391. Radetic M. Functionalization of textile materials with TiO₂ nanoparticles. *J Photochem Photobiol C.* 2013. Vol. 16. P. 62–76.
392. Coyle S., Wu Y., Lau K., De Rossi D., Wallace G., Diamond D. Smart Nanotextiles: A Review of Materials and Applications. *MRS Bull.* 2007. Vol. 32. P. 434–442.
393. Reneker D. H., Yarin A. L., Zussman E., Xu H. Electrospinning of nanofibers from polymer solutions and melts. *Adv Appl Mech.* 2007. Vol. 41. P. 43–195, 345–346.
394. Bhardwaj N., Kundu S. C. Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnol Adv.* 2010. Vol. 28. P. 325–347.
395. Reneker D. H., Yarin A. L. Electrospinning jets and polymer nanofibers. *Polymer.* 2008. Vol. 49. P. 2387–2425.
396. ISO/TC 229 Nanotechnologies. International Organization for Standardization. URL: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=381983
397. Panthi G., Park M., Kim H., Park S. Electrospun polymeric nanofibers encapsulated with nanostructured materials and their applications: a review. *J Ind Eng Chem.* 2015. Vol. 24. P. 1–13.
398. Rivero P. J., Urrutia A., Goicoechea J., Rodríguez Y., Corres J. M., Arregui F. J., Matías I. R. An antibacterial submicron fiber mat with in situ synthesized silver nanoparticles. *J. Appl. Polym. Sci.* 2012. Vol. 126 (4). P. 1228–1235.
399. Li D., Xia Y. Direct fabrication of composite and ceramic hollow nanofibers by electrospinning. *Nano Lett.* 2004. Vol. 4. P. 933–938.

400. Venugopal J., Ramakrishna S. Applications of polymer nanofibers in biomedicine and biotechnology. *Appl Biochem Biotechnol: Part A: Enzym Eng Biotechnol*. 2005. Vol. 125 (3). P. 147–157.
401. Huang Z., Zhang Y., Kotaki M., Ramakrishna S. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Sci Technol*. 2003. Vol. 63. P. 2223–2253.
402. Radetic M. Functionalization of textile materials with silver nanoparticles. *J Mater Sci*. 2012. Vol. 48. P. 95–107.
403. Apaydin K., Laachachi A., Ball V., Jimenez M., Bourbigot S., Ruch D. Layer-by-layer deposition of a TiO₂-filled intumescent coating and its effect on the flame retardancy of polyamide and polyester fabrics. *Colloids Surf Physicochem Eng Aspects*. 2015. Vol. 469. P. 1–10.
404. Golja B., Sumiga B., Tavcer P. F. Fragrant finishing of cotton with microcapsules: comparison between printing and impregnation. *Coloration Technology*. Society of Dyers and Colourists. 2013. Vol. 129 (5). P. 338–346.
405. Carosio F., Alongi J., Frache A. Influence of surface activation by plasma and nanoparticle adsorption on the morphology, thermal stability and combustion behavior of PET fabrics. *Eur Polym J*. 2011. Vol. 47. P. 893–902.
406. Gomes A. P., Mano J. F., Queiroz J. A., Gouveia I. C. Layer-by-layer deposition of antibacterial polyelectrolytes on cotton fibres. *J Polym Environ*. 2012. Vol. 20 (4). P. 1084–1094.
407. Daoud W. A., Xin J. H. Low Temperature Sol-Gel Processed Photocatalytic Titania Coating. *Gel. Sci. Technol*. 2009. Vol. 29. P. 25–29.
408. Sclafani A., Palmisano L., Schiavello M. Influence of the preparation methods of titanium dioxide on the photocatalytic degradation of phenol in aqueous dispersion. *J Phys Chem*. 1990. Vol. 94. P. 829–832.
409. Huang C., Wang H., Fang L.-N., Wang H. and Zhang H.-J. Finishing of cotton fabrics with nanometer ZnO and chitosan. *J Text Res*. 2006. Vol. 27. P. 41–44.
410. Rakhimova S. M., Vig A., Taussarova B. R., Kutzhanova A. Zh. The Use of Nanosized Metal Oxides for Antimicrobial Finish of Cotton Fabric. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2015. № 3 (357). С. 202–205.
411. Akovali G., Rzaev Z. M. O. and Mamedov D.G. Plasma surface modification of Polyethylene wick organosilicon and organotin monomers. *Eur. Polym. J*. 1996. Vol. 32. P. 375–383.
412. Xing Y. J., Yang X. J., Dai J. J. Antimicrobial finishing of cotton textile based on water glass by sol-gel method. *J sol-Gel Sci Technol*. 2007. Vol. 43 (2). P. 187–192.

413. Пат. 8764851 В2 США. Антимикробные материалы, изготовленные с использованием золь–гель метода химических реактивов N – халамина и способы их получения // Subhas Ghosh, Vijaykumar Mannari, Eastern Michigan University. Оpubл. 01.07.2014, Бюл. № 13/428,461. С. 2.
414. Михайлов М. Д. Химические методы получения наночастиц и наноматериалов. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 259 с.
415. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Наноматеріалознавство. 1–е вид. Херсон: ОЛДІ–ПЛЮС, 2015. 550 с.
416. Андрусина И. Н. Наночастицы металлов: способы получения, физико–химические свойства, методы исследования и оценка токсичности. Сучасні проблеми токсикології. 2011. № 3. С. 5–14.
417. Лопатько К. Г., Афтанділянц Е. Г., Зауличный Я. В. Получение и применение наночастиц, содержащих медь и серебро. Труды института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича. 2010. №1. С. 232–243.
418. Dastjerdi R., Montazer M. A review on the application of inorganic nano–structured materials in the modification of textiles: Focus on anti–microbial properties. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2010. Vol. 79. P. 5–18.
419. Лысенко Е. Л. Использование целлюлозной матрицы для синтеза наночастиц железа, кобальта и никеля: автореф. дис. на соиск. уч. степени док. хим. наук: 02.00.04. Санкт–Петербургский государственный университет технологий и дизайна. Санкт–Петербург, 2007. 16 с.
420. Редько Я. В., Романкевич О. В. Модифікація текстильного матеріалу шляхом синтезу наночастинок *in situ* для надання магнітних властивостей. Вісник КНУТД. 2015. № 4 (88). С. 158–163.
421. Азенштейн Э. М. Перспективы развития химических волокон. Текстильная промышленность. 2006. № 11. С. 43–44.
422. Морозова А. А., Брежнева Ю. В. Углеродные волокнистые материалы на основе вторичного сырья льноперерабатывающей. Химические волокна. 2001. № 1. С. 40–44.
423. Конкин А. А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы. М. : Химия, 1974. 376 с.
424. Лысенко В. А., Лысенко А. А., Сальникова П. Ю. Электропроводящие волокнистые пористые композиты как объекты системного проектирования. Известия вузов. Технология легкой промышленности. 2011. Т. 12, № 2. С. 10–13.
425. Получение углерод–углеродных композиционных материалов с использованием в качестве связующих токопроводящих компаундов / А. А. Михалчан, В. А. Лысенк, О. В. Мельник, О. В. Асташкина, А. А. Лысенко. Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 2. С. 56–60.

426. Лысенко В. А., Сальникова П. Ю. Изучение процессов карбонизации композитов, наполненных наночастицами углерода. *Дизайн. Материалы. Технология.* 2015. № 2. С. 44–48.
427. Breuer O. Big returns from small fibres: a review of polymer/carbon nanotubes composites // *Polymer composites.* 2004. Vol. 25 (6). P. 630–645.
428. Monaghan T., Capel A. J., Christie S. D., Harris R. A., Friel R. J. Solid–state additive manufacturing for metallized optical fiber integration. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.* 2015. Vol. 76. P. 181–193.
429. Vančo M., Krmela J., Pešlová F. The Use of PVD Coating on Natural Fibers. *Textile Procedia Engineering.* 2016. Vol. 136. P. 341–345.
430. Toshima N., Hara S. Direct synthesis of conducting polymers from simple monomers. *Prog. Polym. Sci.* 1995. Vol. 20. P. 155–183.
431. Kumar K. K. S., Geetha S., Trivedi D. C. Freestanding conducting polyaniline film for the control of electromagnetic radiations. *Curr. Appl. Phys.* 2005. Vol. 5. P. 603–608.
432. Anand J., Palaniappan S., Sathyanarayana D. N. Conductiong polyaniline blends and composites. *Prog. Polym. Sci.* 1998. Vol. 23. P. 993–1018.
433. Heisey C. L., Wightman J. P., Pittman E. H., Kuhn H. H. Surface and Adhesion Properties of Polypyrrole-Coated Textiles. *Text. Res. J.* 1993. Vol. 63 (5). P. 247–256.
434. Редько Я. В., Романкевич О. В. Влияние ПАВ на синтез и сорбцию полианилина волокнистым материалом. *Вісник КНУТД.* 2010. № 4. С. 192–198.
435. Редько Я. В., Романкевич О. В. Синтез поліаніліну за наявності різних типів поверхнево–активних речовин. *Вісник КНУТД.* 2009. № 5. С. 168–174.
436. Red'ko Ya., Garanina O., Romaniuk Ye. Development of textile materials with electromagnetic characteristics using nanotreatment and surface modification: Technical research and development: collective monograph / Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V., – etc. – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2021. P. 275–296.
437. Функціональні нанокompозити на текстильній основі / Я. Редько, Н. Когут // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості» (17 – 18 листопада 2021 р., Хмельницький). Хмельницький: ХНУ. 2021. С. 73–75.
438. H. Schmidt. Considerations about the sol-gel process: From the classical sol-gel route to advanced chemical nanotechnologies // *J. Sol-Gel Sci. Technol.* – 2016. – № 40. –P. 115–130.

439. Вишневська Г. Г. Потенціал кулінарних турів у контексті спеціалізованого туризму / Г.Г. Вишневська // Актуальні проблеми історії, теорії та практики художньої культури. – 2013. – №31. – С. 112-118.
440. Всесвітня туристична організація [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Всесвітня_туристична_організація
441. Гастрономический туризм [Електронний ресурс] // Big Cities. – Режим доступу : <https://bigcities.org/gastronomicheskij-turizm>.
442. Гастрономічний туризм в Україні на сучасному етапі : сутність та основні напрями розвитку [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://77.121.11.9/xmlui/handle/PoltNTU/1064>.
443. Гастрономический туризм. Путешествуй с комфортом [Електронний ресурс] // Travelluxtour.info. – Режим доступу : <http://travelluxtour.info/vidy-turizma/gastronomicheskij-turizm>.
444. Гастрономический туризм: через пищу к культуре [Електронний ресурс] // Outlook. Feel The World. – Режим доступу : <http://theoutlook.com.ua/article/6336/gastronomicheskij-turizm-cherez-pishhu-k-kulture.html>.
445. Гастрономические туры: что это и зачем? [Електронний ресурс] // Путевые заметки Алексея Онегина. Советы путешественника. – Режим доступу: <https://arborio.ru/travel/gastronomicheskie-tury-chto-eto-i-zachem>.
446. Гастротури [Електронний ресурс] // Загальна інформація. – Режим доступу : <http://www.atlanttour.com.ua/gastro-turi>.
447. Гастротури [Електронний ресурс] // Про кулінарний та гастрономічний туризм. – Режим доступу : <http://gastours.blogspot.com/2016/06/blog-post.html>.
448. Гастрошопінг [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.greece-is.com/gastro-shopping-cyclades>.
449. Головка О. М. Організація готельного господарства : навч. пос. / О. М. Головка. – К. : Київ, Кондор, 2012 р. – 338 с.
450. Головне управління статистики у Харківській області [Електронний ресурс] // Статистична інформація – Режим доступу : <http://kh.ukrstat.gov.ua/index.php/stat-informatsiya>.
451. Економіка [Електронний ресурс] // Сильні та слабкі сторони Харківської області. – Режим доступу : <http://www.sq.com.ua/rus/news/ekonomika/> 06.03.2015/
silnye_i_slabye_storony_harkovskoj_oblasti_swat_analiz.
452. Електробезпека в готелях [Електронний ресурс] // Бібліотека українських підручників. – Режим доступу : <http://westudents.com.ua>.

453. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.
454. Зорін І. В. Туризм як вид діяльності / Зорін І. В., Каверіна Т. П., Квартальнов В. А. — Москва: Фінанси та статистика, 2005. — 288 с.
455. Міжнародний еногастрономічний центр [Електронний ресурс] // Міжнародний форум-фестиваль «Перспективи розвитку гастрономічного туризму». — Режим доступу : <http://www.icwag.ru/news/103.html>.
456. Міжнародний форум-фестиваль «Гастрономічний туризм та стрітфуд» [Електронний ресурс] // Президент Португальської асоціації гастрономічного туризму Жозе Баральо. — Режим доступу: <https://www.russiatourism.ru/news/13711>.
457. НІУ «Высшая школа экономики» [Електронний ресурс] // Хорева Любовь Викторовна. — Режим доступу : <https://www.hse.ru/org/persons/26765353>.
458. Основи туристичної діяльності [Електронний ресурс] // Екскурсивод і гід-перекладач. — Режим доступу : http://info-library.com/content/1491_Ekskursivod_i_gid_perekladach.html.
459. Основні статистичні дані про діяльність готелів і ресторанів України [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.sta.gov.ua>.
460. Офіційний сайт Харківської міської ради, міського голови, виконавчого комітету [Електронний ресурс] // Про Харків. Історичний нарис. — Режим доступу : <http://www.city.kharkov.ua/uk/o-xarkove/istoriya/istoricheskij-ocherk.html>.
461. Офіційний сайт Харківської міської ради, міського голови, виконавчого комітету [Електронний ресурс] // Київський район. — Режим доступу : <http://www.city.kharkov.ua/ru/gorodskaya-vlast/ispolnitelnyie-organy/rajonnyie-administraczii/kievskij-rajon/o-rajone.html>.
462. Планета готелів [Електронний ресурс] // Готелі Київського району. — Режим доступу : <https://planetofhotels.com/ukraine/harkov/kievskiy-rayon>.
463. Сиро-винні тури Закарпаттям [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://vidviday.ua/syro-vynnyj_tur_zakarpattyam.
464. Специфіка і просторові особливості гастрономічного туризму [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://privetstudent.com/diplomnyye/diplomnye_raboty_po_geografii/2103-specifika-i-prostranstvennye-osobennosti-gastronomicheskogo-turizma.html.
465. Стратегія розвитку туризму в Харкові [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.city.kharkov.ua/uk/news/rozroblena-strategiya-rozvitku-turizmu-v-kharkovi-27350.html>.
466. Туристичний сервіс [Електронний ресурс] // TripAdvisor. — Режим доступу : <https://www.tripadvisor.ru>.

467. World Food Travel Association [Електронний ресурс] // Офіц. веб-сайт. – Режим доступу : <https://www.worldfoodtravel.org/cpages/home>.
468. Создание низкотемпературного нагревателя методом плазменного напыления/ А.С. Аньшаков, А.М. Казанов, Э.К. Урбах и др. // Физика и химия обработки материалов. - 1998. - №3. - С. 56-61.
469. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л., Ардатовская Е.Н. Газотермические покрытия из порошковых материалов. - К.:Наукова думка, 1987.- 544 с.
470. Спиридонов Н.В., Протасович В.А., Самодеева Т.И. Влияние лазерной обработки на структуру и триботехнические свойства плазменных покрытий из самофлюсующихся сплавов// Порошковая металлургия. -1988.- №1. - С. 11-14.
471. Постников В.С., Часова Л.В. Формирование структуры в самофлюсующихся покрытиях на никелевой основе// Металловедение и термическая обработка металлов.- 1991. -№3. - С.5-8.
472. Структура и свойства композитов при лазерном модифицировании плазменных покрытий на порошковых материалах / Шмаков А.М., Ившина Н.Н.// ФХИОМ, 1992, №5, с.90-99.
473. Новые материалы и технологии. Теория и практика упрочнения материалов в экстремальных процессах/ Под ред.. Папырина А.Н., Болотиной Н.П., Боль А.А. и др.. Новосибирск: Наука.- 1992.-200с.
474. Шелягин, В. Д., Хаскин, В. Ю., Бернацкий, А. В., & Сиора, А. В. (2008). Разработка технологических приемов лазерного упрочнения поверхностных слоев деталей из стали 38ХНЗМФА. Вісник двигунобудування, (2), 94-97.
475. Шелягин, В. Д., Хаскин, В. Ю., Грищенко, А. П., Сиора, А. В., & Бернацкий, А. В. (2009). Лазерная модификация плазменнонанесенных покрытий. Вісник двигунобудування, (2), 69-72.
476. Sheliakin, V. D., Khaskin, V. Y., Nikulin, O. T., Bernatskyi, A. V., & Siora, O. V. (2009). The development of technological methods of laser surface treatment of heavily loaded parts wheel set cars. Science and Transport Progress, (28), 194–198. <https://doi.org/10.15802/stp2009/14154>
477. Герасимчук З.В., Олексюк А.О., Екологічна безпека регіону: діагностика та механізми забезпечення : монографія. Луцьк : Надстир'я, 2007. 280 с.
478. Kantorovich, Z.V. (1960). Basics of calculation of chemical machines and devices. Mashgiz.
479. Mikhalev, M.F., Tretyakov, N.P. & Milchenko, A.I. (1984). Calculation and design of machines and apparatus of chemical production. Examples and problems: A textbook for universities. Mashynostroenie.
480. Pisarenko, G.O. (1986). Strength of materials. High School.

481. Sokolov, V.I. (1983). Fundamentals of calculation and design of machines and apparatus for food production. Mashynostroenie.
482. Dobronogov, V.G., Zubriy, O.G. & Voronin, L.G. (1998). Algorithm for calculating the vibration resistance of shafts of mechanical agitators. KPI.
483. Lashchinsky, A.A. & Tolchinsky, A.R. (1970) Fundamentals of design and calculation of chemical equipment. Mashynostroenie.
484. Kopylenko, A., Shybetskyy, V., Kostyk, S., Povodzinskiy, V., (2018). METHODOLOGY OF CONSTRUCTION CALCULATION OF BIOREACTORS WITH A JOINT ACTION OF DIFFERENT LOADS. SWNUFT 24, 126–135. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-1-17>
485. Schiffer, W., (2006). Advanced methods for static and dynamic shafting calculations. Journal of the JIME 41, 115–122. https://doi.org/10.5988/jime.41.SI_115
486. Zhang, C., Yang, J., Chang, Z., (2022). Vibration of shafts and shaft systems, in: Machinery Dynamics. Elsevier, pp. 223–248. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815785-5.00020-0>
487. Abdusattarovich, M.A., Ogli, R.D.O., (2021). Calculation of shafts bending vibrations. ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal 11, 1103–1109. <https://doi.org/10.5958/2249-7137.2021.01519.6>
488. Ugural, A.C., (2022). Mechanical Engineering Design: SI Version, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781003251378>
489. Loginovskikh, V.M., Cherentsov, D.A., Voronin, K.S., (2018). Calculation of transverse vibrations of the pump set shaft. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 445, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/445/1/012001>
490. Yaremchuck, M., Kostyk, S., Shybetskyy, V., (2019). Research of the homogenization process in the operation of a three-level closed turbine mixer. TAPR 6, 26–28. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.186654>
491. Korobiichuk, I., Shybetskyi, V., Kostyk, S., Kalinina, M., Tsytsiura, A., (2022). Ways to Reduce the Creation of Vortex During Homogenization of Liquid Products, in: Szewczyk, R., Zieliński, C., Kaliczyńska, M. (Eds.), Automation 2022: New Solutions and Technologies for Automation, Robotics and Measurement Techniques. Springer International Publishing, Cham, pp. 329–343.
492. Gutyrja S., Zablonsky K., Yaglinsky V. System Modeling of Gears Design Quality // International Conference on Gears. VDI-Berichte 1904.1. – ISBN 3-18-091904-3. – Dusseldorf: VDI Verlag GmbH, 2005. – P. 417 – 434.
493. Gutyrja S., Siforov A. Reliability and Efficiency Evaluation of Hydro-pneumatic Systems be the method of small Deviations // HIPNEF'04. – Beolgrad, 2004. – P. 633–636.

494. Яглінський В., Гутиря С. Системна фільтрація і синтез критеріїв якості промислових роботів // *Машинознавство*. – 2005. – № 3 (93). – С. 42–47.
495. Yaglinsky V.P. S. Rost, D.M. Chlizov. Kinematics of robots with parallel structure // *MOTROL, Motorization and Power Industry in Agriculture*. — Lublin, 2008. – Vol. 10A. – P. 100–114.
496. Яглінський В.П., Гутиря С.С., Оборський Г.О. Надійність верстатів-роботів і промислових платформ на основі механізмів паралельної структури // *Методи розв'язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла*. – Дніпропетровськ: Ліра, 2011. – Вип. 12. – С. 246–254.
497. Яглінський В.П., Гутиря С.С. Надійність авіаційного тренажера на основі гексапода при екстремальних навантаженнях // *Вісн. СевНТУ. Механіка, енергетика, екологія*, 2011. – Вип. 120. – С. 196–205.
498. Oborskyi G., Hutyria S., Yaglinskyi V., Chanchin A. Technical evolution and reliability of trolleybus's traction transmission // *Вісник НТУ ХПІ. Серія: Проблеми механічного приводу*. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2018. – № 25 (1301). – С. 117–126.
499. Hutyria S., Yaglinskyi V., Chanchin A., Khomiak Yu., Popov V. Evolution of Trolley-bus: Directions, Indicators, Trends // *Diagnostika*, 2020. – Vol. 21, No. 1: 11–26. DOI: doi.org/10.29354/diag/116080
500. Scientific foundations of solving engineering tasks and problems: collective monograph / Demchyna B., Yahlinskyi V., Hutyria S. – etc. – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2021. – 758 p. Available at: DOI-10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II
501. Polishchuk M., Yahlinskyi V. Mobile Technology Module for Pipeline Maintenance // *Design and Simulation. FME Transactions*. Volume 50, No 2, 2022, pp. 360–368, doi:10.5937/fme2201360P.
502. Полякова З.И. Виды соединений в машиностроении часть 2: учеб. пособие/ З.И. Полякова, Л.В.Староверова, С.А. Поляков. – ВПИ ВГТУ. – Волгоград, 2010. – 104с.
503. Лебедь В.Т. Технология тепловой сборки составных крупногабаритных деталей / В.Т., Лебедь А.А. Кулаченко // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. – Донецк: ДонНТУ, 2004. - Вып. 28. – С. 84-94.
504. Скигоев П.В. Опорные валки станов холодной прокатки / П.В. Скигоев, А.Д. Петров, А.И. Карманов // *Обзоры НИИинформтяжмаш*. - М., 1967. - № 1. - С.67.
505. Исследование, усовершенствование конструкции, отработка и внедрение технологии изготовления и восстановления крупных опорных валков. Тема № 143-0655-03, номер гос. Регистрации 0185.0046681 / Рук. Темы М.В. Гедеон.- Краматорск, 1988.- 144 с.
506. Минько, В.М. Опыт повышения надежности газоперекачивающих агрегатов для газлифтной добычи нефти [Текст] / В.М. Минько, И.В. Овсейко, Ю.С.

Филоненко // Ремонт и модернизация компрессорного и насосного оборудования химических производств: сборник докладов участников семинара "ЭККОН-11" XIII Международной научно-технической конференции "Гервикон-2011" / Под ред. В.С. Марцинковского. — Сумы: СумГУ, 2011. — С. 297-304.

507. Петухов А.Н. Фреттинг-коррозия и фреттинг-усталость малоподвижных соединений ГТД и энергетических машин. Авиационно-космическая техника и технология №7 (15), 2004, Харьков, «ХАИ». - С. 128-134.

508. Смыслов А.М., Селиванов К.С. Повышение долговечности деталей машин в условиях фреттинга. г.Уфа «Гилем», 2005. - 180с.

509. Панова И.М., Панов А.Д. Анализ надежности соединений с натягом в особых условиях эксплуатации // Интернет-журнал «Науковедение» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/26TVN417.pdf> (доступ свободный).

510. Малицкий И.Ф., Чернятина Е.В. Влияние шероховатости и способов обработки на прочность сопряжения с натягом. Украина. «Машинобудування», №13, 2014.

511. Panda A, Dyadyura K, Valíček J, Harničárová M, Zajac J, Modrák V, Pandová I, Vrábek P, Nováková-Marcinčinová E, Pavelek Z. Manufacturing Technology of Composite Materials—Principles of Modification of Polymer Composite Materials Technology Based on Polytetrafluoroethylene. *Materials*. 2017; 10(4):377.

512. Уотерхауз Р.Б. Фреттинг – коррозия / Уотерхауз Р.Б. Пер. с англ. – Л.: Машиностроение, 1976. – 270 с.

513. O. Maksakova, S. Simoões, A. Pogrebnjak, O. Bondar, Y. Kravchenko, V. Beresnev, N. Erdybaeva The influence of deposition conditions and bilayer thickness on physical-mechanical properties of CA-PVD multilayer ZrN/CrN coatings, *Materials Characterization*, 140, 2018, pp. 189-196.

514. A.D. Pogrebnjak, V.M. Beresnev, O.V. Bondar, B.O. Postolnyi, K. Zaleski, E. Coy, S. Jurga, M.O. Lisovenko, P. Konarski, L. Rebouta, J.P. Araujo, *Materials & Design* (2018) Vol. 153, pp.47-59

515. V. Tarelnyk and V. Martsynkovskyy, "Upgrading of Pump and Compressor Rotor Shafts Using Combined Technology of Electroerosive Alloying", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 630, pp. 397-412, 2014 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.397>

516. Tarel'nik, V.B., Martsinkovskii, V.S. & Zhukov, A.N. *Chem Petrol Eng* (2017) 53: 266. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0333-7>

517. V. Martsinkovsky et al., *Procedia Engineering* (2012) 39: 157. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.020>

518. B. Antoszewski and V. Tarelnyk, "Laser Texturing of Sliding Surfaces of Bearings and Pump Seals", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 630, pp. 301-307, 2014 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.301>

519. A.D. Pogrebnjak, V.M. Beresnev, K.V. Smyrnova, Ya.O. Kravchenko, P.V. Zukowski, G.G. Bondarenko The influence of nitrogen pressure on the fabrication of the two-phase superhard nanocomposite (TiZrNbAlYCr) N coatings, *Materials Letters*, 211, pp.316-318, 2018
520. Waterhouse R. B., Brook P. A., Lee G. M. C — «Wear», Vol. 5, 1962, p. 235.
521. Л.Т. Балацкий. Прочность прессовых соединений / К.: Техніка, 1982. – 152с.
522. Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н.И. Электроискровая обработка токопроводящих материалов. М.: Изд. АН СССР, 1968. – 182 с.
523. Структура и свойства металлов и сплавов при электроискровом воздействии: монография / С. Н. Химухин, Хосен Ри, Э. Х. Ри. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 127 с.
524. Мулин Ю. И. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из минерального сырья / Ю. И. Мулин, А. Д.Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – 110 с.
525. V. B. Tarel'nyk, O. P. Gaponova, I. V. Konoplianchenko, and M. Ya. Dovzhyk, Investigation of Regularities of the Processes of Formation of Surface Layers with Electroerosive Alloying. Part II, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 39, No. 3: 363–385 (2017) (in Russian), <https://doi.org/10.15407/mfint.39.03.0363>
526. V.B. Tarel'nyk, O.P. Gaponova, Ye.V. Konoplyanchenko, and M. Ya. Dovzhyk, Investigation of Regularities of the Processes of Formation of Surface Layers with Electroerosive Alloying. Part I, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 38, No. 12: 1611—1633 (2016) (in Russian) <https://doi.org/10.15407/mfint.38.12.1611>
527. V.B. Tarel'nyk, O.P. Gaponova, Ye.V. Konoplyanchenko, and M.Ya. Dovzhyk, Investigation of Regularities of the Processes of Formation of Surface Layers with Electroerosive Alloying. Part I, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 38, No. 12: 1611—1633 (2016) (in Russian) <https://doi.org/10.15407/mfint.38.12.1611>
528. V. B. Tarel'nyk, O. P. Gaponova, I. V. Konoplianchenko, V. A. Herasymenko, and N. S. Evtushenko, The Analysis of a Structural State of Surface Layer after Electroerosive Alloying. I. Features of Formation of Electroerosive Coatings on Steel 45, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 40, No. 2: 235–254 (2018) (in Russian), DOI: 10.15407/mfint.40.02.0235.
529. Tarel'nik, V.B., Paustovskii, A.V., Tkachenko, Y.G. et al. *Surf. Engin. Appl.Electrochem.* (2018) 54: 147. <https://doi.org/10.3103/S106837551802014X>
530. Kirik, G.V., Gaponova, O.P., Tarel'nyk, V.B. et al. *Powder Metall Met Ceram* (2018) 56: 688. <https://doi.org/10.1007/s11106-018-9944-6>
531. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием. К.: Вища школа. Головное изд-во, 1977. 192с.

532. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. К.: Вища школа, 1990. 424с.
533. Равська Н.С., Родин П.Р., Ніколаєнко Т.П., Мельничук П.П. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці. Київ: Вид. СКД-Друк, 2013. 215 с.
534. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
535. Одинцова А. С. Фасонные фрезы для обработки храповых колес методом обкатки: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Киев, 1989. 208 с.
536. Парненко В. С., Равська Н. С., Охрименко О. А., Особливості виготовлення відрізних дискових фрез на зубофрезерному верстаті. Збірник матеріалів XIV міжнародної науково-технічної конференції "Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку". Краматорськ, 2016.
537. Родин П.Р., Одинцова А.С., Олифиренко М.И. Способ нарезания храповых колес и дисковая угловая фреза для его осуществления. А.С. № 1373501, Б.И. № 6, 1988, с.38.
538. Парненко В. С. ДИСКОВІ ОБКАТНІ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБКИ ВІДРІЗНИХ ПИЛ З НЕРІВНОМІРНИМ КРОКОМ: дис. ... канд. тех. наук : 05.03.01. Київ, 2019. (ДК №053788, 15.10.2019)
539. Парненко В. С., Равська Н. С., Охрименко О. А., Особливості виготовлення відрізних дискових фрез на зубофрезерному верстаті. Збірник матеріалів XIV міжнародної науково-технічної конференції "Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку". Краматорськ, 2016.
540. Равська Н.С., Парненко В.С. Визначення мінімального допустимого діаметра дискової обкатної фрези при обробці відрізних пил з нерівномірним кроком. Збірник наукових праць. «Перспективні технології та прилади». Луцьк, 2018. №9. С.98-104.
541. Парненко В. С. Определение профиля зуба дисковой пилы, обрабатываемого дисковой обкаточной фрезой. Збірник наукових праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції: "Інноваційні підходи і сучасна наука", м. Київ: 2015. 172с.
542. Парненко В.С. Расчет параметров впадин обкаточных дисковых фрез для изготовления пил с неравномерным шагом. Вестник Национального Технического Университета Украины "КПИ". 2014. №72.
543. Равська Н.С., Парненко В.С. Особливості заточки фасонних дискових обкатних фрез для обробки багатозубих виробів з нерівномірним кроком по задній поверхні. XV Міжнародна науково-технічна конференція: Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. (м. Краматорськ, 30 трав. – 1 черв. 2017 р.). Краматорськ. 2017. С.72-73.

544. Парненко В.С. Методика розрахунку кута повороту інструменту другого порядку для отримання визначеного нахилу зубів оброблюваного інструмента. Загально-університетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Матеріали конференції. (м. Київ, 24 лют. 2014). Київ. 2014. С. 64-66.
545. Равська Н.С. Парненко В.С., Родін Р. П. Спосіб нарізування дискових пил з нерівномірним кроком зубів. Патент на корисну модель UA 104229, Опублік. 25.01.2016.
546. JULIA UTENSILI SPA. URL: https://www.juliautensili.com/wp-content/uploads/2018/10/HSS_CATALOGUE_Edition-2018_2.pdf. (Last accessed: 13.06.2022).
547. Kinkelder BV. URL: <https://kinkelder.com/saw-blades/hss-standard/>. (Last accessed: 13.06.2022)
548. Stark. HSS Circular Saws: каталог. GMV-Grafiche Marini Villorba, 2017. 27 s.
549. Tate C. The fundamentals of industrial sawing. URL: <https://www.ctemag.com/news/articles/fundamentals-industrial-sawing> (Last accessed: 13.06.2022)
550. Лорох Р. Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Киев, 1998. 180 с.
551. Родин П. Р., Равская Н. С., Бабенко А. Е., Боронко О. А.. Дисковые пилы с неравномерным шагом: монография. К.: НТУУ “КПИ”, 2008. 216 с.
552. Мазур М.П. Внуков Ю. М. Залога В.О. Новосьолов Ю. К. Якубов Ф.Я. Основи теорії різання матеріалів: підручник. Львів: Новий світ, 2000. 422с.
553. Палей М. М., Дибнер Л. Г. Технология шлифования и заточки режущего инструмента. М., Машиностроение, 1988. 288 с.
554. Панчук В.Г., Родін Р.П., Нощенко Н.О. Геометрія різальної частини відрізних фрез зі стружковими канавками змінної висоти. Вісник Житомирського державного технологічного університету, 2006. №1936. С.24-31.
555. Родин П. Р., Равская Н. С., Бабенко А. Е., Боронко О. А.. Дисковые пилы с неравномерным шагом: монография. К.: НТУУ “КПИ”, 2008. 216 с.
556. Часовников Л.Д. Передачи зацеплением. М., Машгиз, 1961.
557. Зак П.С. Глобоидная передача. М., Машгиз, 1962.
558. Заблонский К.И. Теоретическое определение закона распределения нагрузки вдоль контактных линий зубчатых передач. – Научные записки. Одесса. Изд. Одесского политехнического ин-та. 1962, №48.

559. Заблонский К.И., Суббочев И.М., Телис И.Я., Попов Н.Л. Причины выхода из строя глобоидных передач подъёмно-транспортных механизмов и пути их устранения. Сб.: «Детали машин». Вып. 20. Киев. «Техника», 1975.
560. Саверин М.М., Ревков Г.А. О прочности глобоидных червяков. – «Вестник машиностроения», 1957, №9.
561. Сагин Л.И., Вопросы улучшения эксплуатационных качеств глобоидных передач и некоторые новые методы их модификации. – Сб.: «Проблемы качества и прочности зубчатых передач». №3, М., ЦБТИ, 1961.
562. Дикер Я.И., Сагин Л.И. Основы производства червячных глобоидных передач. – «Труды ЦНИИТМАШ». Книга 96. М., Машгиз, 1960.
563. Богин Я.И., Голлер Д.Э. К оценке прочности глобоидного червяка. – В сб.: Проблемы качества и прочности зубчатых передач. М., ЦБТИ, 1961, № 1.
564. Саверин М.М., Ревков Г.А. О прочности глобоидных червяков. – «Вестник машиностроения». 1957, №9.
565. Дикер Я.И. К вопросу о конструировании и изготовлении глобоидных передач. – «Вестник машиностроения». 1950, №1.
566. Федоров Г.В. Исследование эксплуатационных показателей глобоидных редукторов нормального ряда. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук. 1965.
567. Заблонский К.И., Кушников И.Я., Телис И.Я. Термическая мощность глобоидного редуктора. – «Машиностроение. Информ. научн. техн. сб.» 1964, №6 (30).
568. Заблонский К.И., Мак С.Л. Влияние конструктивных форм деталей машин на их долговечность. Киев, «Техніка». 1971.
569. Заблонский К.И., Суббочев И.М., Телис И.Я. Исследование износа глобоидных передач. «Технология и организация производства». 1968. №1.
570. Заблонский К.И. Жесткость зубчатых передач. Киев. «Техника». 1967.
571. Волков К.П., Старосельский А.А. Визначення прогину глобоїдного червяка. – В сб.: Деталі машин. Вип. 11. Київ, «Техніка». 1970.
572. Клячкин Н.Л. К вопросу определения прогиба винтов. – «Вестник машиностроения». 1952, №7.
573. Старосельский А.А., Заблонский К.И. О прогибах винтов. – «Вестник металлопромышленности», 1939, № 10-11.
574. Соркин Г.И. Федотов Б.Ф. Глобоидная передача. Авт. св. №247741. – «Бюлетень» №22, 1969.

575. Белов В. В., Пергаменщик Б. К. Крупные аварии на ТЭС и их влияние на компоновочные решения главных корпусов. Вестник МГСУ. 2013. № 4. С. 61–69.
576. Козлитин А. М., Попов А. И., Козлитин П. А. Анализ риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва на мазутных резервуарах ТЭЦ. Безопасность труда в промышленности. 2003. № 1. С. 26–32.
577. Кириллов И. А., Харитонова Н. Л., Шарафутдинов Р. Б., Хренников Н.Н. Обеспечение водородной безопасности на атомных электростанциях с водоохлаждаемыми реакторными установками. Современное состояние проблемы // Ядерная и радиационная безопасность. 2017, № 2 (84). С.1 – 12.
578. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017
579. Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд. В 2-х кн. М.: Химия, 1990. Кн. 1– 496 с. Кн. 2 – 384 с.
580. Водень. Властивості, отримання, зберігання, транспортування, застосування: Довідкове видання / Д. Ю. Гамбург, В.П. Семенов Н.Ф. Дубовнін та ін: під ред. Д.Ю. Гамбурга, І.Ф. Дубовніна. – М.: Хімія, 1989. – 672 с.
581. Гельфанд Б. Е., Попов О. Е., Чайванов Б. Б. Водород: параметры горения и взрыва. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 288 с.
582. ДСТУ Б В.111-4-98* “Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги”.
583. Семерак М. М. Моделювання термогазодинамічних параметрів струменя водню у разі розгерметизації корпусу турбогенератора електричної станції/ Семерак М.М., Субота А.В., Желяк В.І. / Вісник: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУБЖД, 2013. – №7. – С. 225 – 229.
584. Беспроводові системи зв'язку терагерцового діапазону: монографія. /Сайко В.Г., Наритник Т.М. - Німеччина: Видавництво "LAP LAMBERT Academic Publishing RU", 2019. -- 68 с.
585. Radwan, A. Low-Cost On-Demand C-RAN Based Mobile Small-Cells. / A. Radwan, K. M. S. Huq, S. Mumtaz, et al. // IEEE Access. — 2016. — Vol. 4. — Pp. 2331–2339.
586. 3GPP TS 37.340 V15.2.0: NR: Multi-connectivity; Overall description, Rel. 15 - 2018. URL: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/37_series/37.340/ (accessed 31.07.2019).
587. Moltchanov, D. Improving Session Continuity with Bandwidth Reservation in mmWave Communications / D. Moltchanov, A. Samuylov, V. Petrov, et al. // IEEE Wireless Communications Letters. — 2018. — no. 7. — P. 1–4.

588. Сайко В.Г. Метод визначення оптимальних параметрів вікон прозорості в терагерцовому діапазоні // Сайко В.Г., Грищенко Л.М., Дакова Л.В., Лисенко Д.О., Кравченко В.І.// Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2017.-- № 1. – с. 28-35.

589. Tesema, F. B. Mobility Modeling and Performance Evaluation of Multi-Connectivity in 5G Intra-Frequency Networks / F. B. Tesema, A. Awada, I. Viering, et al. // Proceedings of Globecom Workshops (GC Wkshps) / IEEE. — San Diego, CA, USA, 2015. — Pp. 1–6.

590. Климаш М.М. Методи та моделі побудови гетерогенних мереж мобільного зв'язку 4G/5G: монографія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. – 388 с.

591. Andrews, J. G. Modeling and analyzing millimeter wave cellular systems / J. G. Andrews, T. Bai, M. N. Kulkarni, et al. // IEEE Transactions on Communications. — 2017. — Vol. 65, no. 1. — Pp. 403–430.

592. Saiko V, Narytnyk T. High-reliability 5G / IoT mobile communication method when using the terahertz wavelength range. Theoretical and scientific foundations in research in Engineering: collective monograph / Saiko V., Narytnyk T. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. pp.477-497. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1

URL: <https://isg-konf.com/theoretical-and-scientific-foundations-in-research-in-engineering/>.

593. Relaying protocols for wireless energy harvesting and information processing / A. A. Nasir [и др.] // IEEE Transactions on Wireless Communications. — 2013. — т. 12, № 7. — с. 3622—3636.

594. Т. Д. Поннимбадуге Перера, Д. Н. К. Джаякоди, С. К. Шарма, С. Чатциногас и Дж. Ли. Одновременная беспроводная передача информации и мощности (SWIPT): последние достижения и будущие проблемы, в обзорах и учебных пособиях IEEE Communications , vol. 20, нет. 1, стр. 264-302, первый квартал 2018 г., doi: 10.1109/COMST. 2017.2783901.

595. Harvest-Then-Cooperate: Wireless-Powered Cooperative Communications / H. Chen [и др.] // IEEE Trans. Signal Processing. — 2015. — т. 63, № 7. — с. 1700—1711.

596. Сайко В.Г. Мережі мобільного зв'язку нового покоління 4G/5G/6G: монографія / Сайко В.Г., Одарченко Р.С., Абакумова А.О., Наритник Т.М., Наконечний В.С., Домрачев В.М., Толюпа С.В., Заблоцький В.Ю., Баховський П.Ф. – К.: ТОВ «Про формат», 2021. – 200 с.

597. V. Saiko, T. Narytnyk, M. Brailovskyi and V. Nakonechnyi. Radiating telecommunication system of the sub-THz-band to protect objects from unauthorized access // 2019 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology PIC S&T'2019. стр. 698–702.

598. Дьяконов В.П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. – М.: ДМК Прес, 2011. – 976 с.
599. Рыбакова Л. М. Исследование структуры тонкого поверхностного слоя деформированного металла / Л. М. Рыбакова // Физика и химия обработки металлов. – 1975. – № 1. – С. 104–109.
600. Ригни Д. Процессы изнашивания при трении скольжения / Д. Ригни // Трение и износ. – 1987. – № 8. – С. 17–22.
601. Владимиров В. И. Проблемы физики трения и изнашивания / В. И. Владимиров // Физика износостойкости поверхности металлов. – Л. : ФТИ РАН, 1988. – С. 8–41.
602. Панин В. Е. Поверхностные слои нагруженных твердых тел как мезоскопический структурный уровень деформации / В. Е. Панин // Физическая мезомеханика. – 2001. – Т. 4. – № 3. – С. 5–22.
603. Крагельский И. В. Узлы трения машин : Справочник / И. В. Крагельский, Н. М. Михин. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
604. Рыжов Э. В. Контактное взаимодействие твердых тел при статических и динамических нагрузках / Э. В. Рыжов, Ю. В. Колесников, А. Г. Суслов. – К. : Наукова думка, 1982. – 172 с.
605. Кравцов В. И. Управление деформированием гибкими пространственно искривленными элементами / В. И. Кравцов // Проблемы тертя та зношування : [наук.-техн. зб.]. – Вип. 50. – К. : НАУ-друк, 2008. – С. 113–121.
606. Кунда Н.Т. Конвенції та угоди у сфері міжнародних автомобільних перевезень: [навч. посібн. для студ. вищ. навч. закладів, які навч. за напрямом «Транспортні технології»] / Н.Т. Кунда, Н.М. Дащенко. –К.: НТУ, 2018. 141 с.
607. Кунда Н.Т. Організація міжнародних автомобільних перевезень: [навч. посібн. для студ.напряму «Транспортні технології»] / Н.Т. Кунда. – К.: ВД «Слово», 2016. 464 с.
608. Митний кодекс України // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2018, № 44-45, № 46-47, № 48, т.552)
609. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016. ДП "УКРНДНЦ" Київ, 2017, 199 с.
610. ТКП 45-2.03-224-2010 (02250) Инженерная защита территории от затопления и подтопления.
611. СНиП 2.02.02–85. Основания гидротехнических сооружений
612. СП 80.13330.2016 Гидротехнические сооружения речные. Актуализированная редакция СНиП 3.07.01-85
<http://docs.cntd.ru/document/456050592>

613. СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты.(Взамен СНиП 3.02.01-83,СНиП Ш-16-80,СН 536-81).
614. СНиП 2.06.05-84* «Плотины из грунтовых материалов». <https://files.stroyinf.ru/Data1/1/1978/index.htm>
615. СП 39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84* (с Изменениями N 1, 2, 3). <http://docs.cntd.ru/document/1200095521>
616. ДБН В.2.1-10-2018. Основи та фундаменти споруд. Київ. Мінрегіонбуд України, 2018-104 с.
617. Флорин В. А. Основы механики грунтов. Электронный источник: <https://dwg.ru/dnl/3808>
618. До визначення коефіцієнта загасання вертикальних напружень від власної ваги ґрунтових гребель по глибині. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2015, № 12 (213).
619. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИРА-САПР®. Руководство пользователя. Обучающие примеры Ромашкина М.А.,Титок В.П. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание, 2018г. – 254 с.
620. PLAXIS 3D CE V21.00: 1 - Підручник .pdf. Електронний ресурс https://communities.bentley.com/cfs-file/__key/communityserver-wikis-components-files/00-00-00-05-58/PLAXIS3DCE_2D00_V21.00_2D00_01_2D00_Tutorial_2D00_3D.pdf
621. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике. - М.: Наука, 1974. - 840 с.
622. Шаповал В.Г., Шаповал А.В., Моркляник Б.В., Андреев В.С. Механика грунтов. Учебник. Днепропетровск: Пороги, 2010- 168 с.