



# TECHNICAL, AGRICULTURAL AND PHYSICAL SCIENCES AS THE MAIN SCIENCES OF HUMAN DEVELOPMENT

Collective monograph

ISBN 979-8-89269-762-0

DOI 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1

BOSTON(USA)-2024

ISBN – 979-8-89269-762-0

DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1

*Technical, agricultural and  
physical sciences as the main  
sciences of human development*

*Collective monograph*

*Boston 2024*

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – 979-8-89269-762-0

DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1

Authors – Glovyn N., Gliva O., Pavliv O. Тихонова О., Artemenko V., Demchyna K., Babyak V., Hladyshchuk D., Vozniuk L., Lemeshev M., Bereziuk O., Stadnijtschuk M., Shapoval V., Shashenko O., Skobenko O., Konoval V., Shuminskyi V., Vozniuk L., Babyak V., Smaliychuk A., Drahun Y., Ivaskiv V., Mazur D., Leibych S., Kiiko S., Hehedosh O., Chereshnya V., Zastryzhnyi A., Mytsyk O., Ivaskiv Y., Дейнека В., Vorobiov L., Dekusha L., Dekusha H., Ivanov S., Khvalin D., Андрющенко А., Нікульшин В., Денисова А., Мельник С., Височин В., Часник Д.В., Румар Т., Kuzmenko R., Maksymiuk A., Fefelov D., Omelchenko M., Kuzmin O., Zemlyanchuk A., Nemirich O., Kuzmin O., Mamchenko L., Yastreba S., Дорожко В., Гунько С., Andrushchak I., Hengyi Z., Kozlov V., Tomashevskaya T., Trofimova L., Hutyria S., Yahlinskyi V., Котенко К.Е., Вінюков О., Вінюков А.

REVIEWER

Ivan Katerynychuk – 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 © 2024 by the International Science Group(isg-konf.com) and authors.

Illustrations © 2024 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.

TECHNICAL, AGRICULTURAL AND PHYSICAL SCIENCES AS THE MAIN  
SCIENCES OF HUMAN DEVELOPMENT

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:

**Technical, agricultural and physical sciences as the main sciences of human development:** collective monograph / Glovyn N., Gliva O. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2024. 418 p. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1

TABLE OF CONTENTS

1. AGRONOMY		
1.1	Glovyn N. <sup>1</sup> , Gliva O. <sup>1</sup> ПИТНА ВОДА НА ШЛЯХУ ТЕХНОГЕННОГО РОЗВИТКУ <sup>1</sup> Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Berezhany Agritechnical Institute», Berezhany, Ukraine	10
1.2	Glovyn N. <sup>1</sup> , Pavliv O. <sup>1</sup> ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХОДУ ТРАДИЦІЙНОГО СПОСОБУ ВЕДЕННЯ АГРОГОСПОДАРСТВА ДО АЛЬТЕРНАТИВНОГО БІООРГАНІЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР <sup>1</sup> Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Berezhany Agritechnical Institute», Berezhany, Ukraine	25
1.3	Тихонова О. <sup>1</sup> ПОПУЛЯЦІЙНА СТРУКТУРА FALLOPIA CONVULVULUS У ПОСІВАХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР <sup>1</sup> Кафедра екології та ботаніки, Сумський національний аграрний університет	45
2. ARCHITECTURE, CONSTRUCTION		
2.1	Artemenko V. <sup>1</sup> , Demchyna K. <sup>1</sup> CALCULATION OF THE BUILDING'S STABILITY AGAINST PROGRESSIVE DESTRUCTION ON THE EXAMPLE OF A REAL PROJECT <sup>1</sup> Lviv National Environmental University, Lviv Polytechnic National University	56
2.2	Babyak V. <sup>1</sup> ANALYSIS OF THE MAIN FACTORS OF THE FORMATION OF HOUSING FOR MIGRANTS <sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Institute of Architecture and Design Lviv Polytechnic National University	64
2.3	Hladyshev D. <sup>1</sup> , Vozniuk L. <sup>1</sup> ARRANGEMENT OF THE HOLE IN THE SHOPPING AND ENTERTAINMENT CENTER FLOOR SLAB <sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University	74

2.4	<p>Lemeshev M.<sup>1</sup>, Bereziuk O.<sup>2</sup>, Stadnijtschuk M.<sup>1</sup></p> <p><b>PREPARATION OF INDUSTRIAL WASTE FOR USE IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Ukraine</p> <p><sup>2</sup> Department Security of Life and Pedagogic of Security, Vinnytsia National Technical University, Ukraine</p>	83
2.5	<p>Shapoval V.<sup>1</sup>, Shashenko O.<sup>1</sup>, Skobenko O.<sup>1</sup>, Konoval V.<sup>2</sup>, Shuminskyi V.<sup>3</sup></p> <p><b>NUMERICAL METHODS IN SOIL MECHANICS AND GEOMECHANICS</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Civil engineering, Geotechnics and Geomechanics, Dnipro National University of Technology</p> <p><sup>2</sup> Department of Industrial and Civil Construction, Cherkasy state Technological University</p> <p><sup>3</sup> Laboratory of research of territories with dangerous geological processes, Kyiv state Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions»</p>	91
2.6	<p>Vozniuk L.<sup>1</sup>, Babyak V.<sup>1</sup>, Smaliychuk A.<sup>1</sup>, Drahun Y.<sup>1</sup>, Ivaskiv V.<sup>1</sup></p> <p><b>COMBINATION OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTIVE SOLUTIONS WHEN CREATING A MULTIFUNCTIONAL COMPLEX AS AN EXAMPLE OF A REAL COMPETITION PROJECT IN UKRAINE</b></p> <p><sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University</p>	107
2.7	<p>Vozniuk L.<sup>1</sup>, Babyak V.<sup>1</sup>, Mazur D.<sup>2</sup>, Leibych S.<sup>2</sup>, Kiiko S.<sup>2</sup></p> <p><b>PROJECT OF REHABILITATION CENTER FOR MILITARY SERVICEMEN AND WAR VETERANS IN ZHYTOMYR, WHICH TAKES FIRST PLACE IN THE "STEEL FREEDOM" ARCHITECTURAL COMPETITION</b></p> <p><sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine</p> <p><sup>2</sup> Department of architectural design, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine</p>	116
2.8	<p>Vozniuk L.<sup>1</sup>, Babyak V.<sup>1</sup>, Hehedosh O.<sup>1</sup>, Chereshnya V.<sup>1</sup>, Zastryzhnyi A.<sup>1</sup></p> <p><b>CREATION OF A SOCIAL MULTIFUNCTIONAL COMPLEX AS AN EXAMPLE OF A REAL COMPETITION PROJECT IN UKRAINE</b></p> <p><sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University</p>	124

2.9	<p>Vozniuk L.<sup>1</sup>, Babiak V.<sup>1</sup>, Mytsyk O.<sup>2</sup>, Ivaskiv Ya.<sup>3</sup></p> <p><b>THE COMBINATION OF ARCHITECTURAL AND STRUCTURAL SOLUTIONS IN THE PROJECT OF THE REHABILITATION CENTER, WHICH WAS AWARDED 1ST PLACE AT THE ARCHITECTURAL COMPETITION “STEEL FREEDOM”</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Architectural Design and Engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine</p> <p><sup>2</sup> Department of Building Constructions and Bridges, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine</p> <p><sup>3</sup> Department of Architectural Environment Design, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine</p>	134
2.10	<p>Дейнека В.<sup>1</sup></p> <p><b>МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ CLT ПАНЕЛЕЙ В ЛІРА-САПР ТА RFEM</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра будівельних конструкцій і мостів, Національний університет «Львівська політехніка»</p>	144
3.	<b>DEVICES</b>	
3.1	<p>Vorobiov L.<sup>1</sup>, Dekusha L.<sup>1</sup>, Dekusha H.<sup>1</sup>, Ivanov S.<sup>1</sup></p> <p><b>HEAT FLUX SENSORS FOR HARSH OPERATING CONDITIONS</b></p> <p><sup>1</sup> Institute of engineering thermophysics of NAS of Ukraine</p>	153
4.	<b>ELECTRICAL ENGINEERING</b>	
4.1	<p>Khvalin D.<sup>1</sup></p> <p><b>THE PHYSICAL PROCESSES IN TURBOGENERATOR END ZONE</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Nuclear Facility Safety, Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, Chornobyl, Ukraine</p>	165
4.2	<p>Андрющенко А.<sup>1</sup>, Нікульшин В.<sup>1</sup>, Денисова А.<sup>1</sup>, Мельник С.<sup>1</sup>, Височин В.<sup>1</sup></p> <p><b>ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ УКРАЇНИ</b></p> <p><sup>1</sup> Theoretical, general and nonconventional power engineering department, Notational University «Odesa Polytechnic», Odesa, Ukraine</p>	200

5. ELECTRONICS		
5.1	<p>Часник Д.В.<sup>1</sup></p> <p>ДОДАТКОВЕ ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ</p> <p><sup>1</sup> Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ, Україна</p>	209
6. ENERGY		
6.1	<p>Рymar T.<sup>1</sup></p> <p>MASS TRANSFER DURING DRYING OF CAPILLARY-POROUS COLLOIDAL MATERIALS IN A FIXED BED</p> <p><sup>1</sup> Department of Heat Power Engineering of Thermal and Nuclear Power Plants, Lviv Polytechnic National University</p>	219
7. FOOD AND LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGY		
7.1	<p>Kuzmenko R.<sup>1</sup>, Maksymiuk A.<sup>1</sup>, Fefelov D.<sup>1</sup>, Omelchenko M.<sup>1</sup>, Kuzmin O.<sup>1</sup></p> <p>MANAGEMENT OF PRODUCTION WASTE AND GARBAGE, THEIR COLLECTION AND DISPOSAL IN CATERING ESTABLISHMENTS</p>	229
7.2	<p>Zemlyanchuk A.<sup>1</sup>, Nemirich O.<sup>1</sup>, Kuzmin O.<sup>1</sup>, Mamchenko L.<sup>1</sup>, Yastreba S.<sup>2</sup></p> <p>EXPANSION OF THE RANGE OF FLOUR CULINARY DISHES FOR SPECIAL PURPOSES</p> <p><sup>1</sup> Department of Technology of Restaurant and Ayurvedic Products, National University of Food Technologies, Kyiv</p> <p><sup>2</sup> Poltava branch of the National University of Food Technologies</p>	238
7.3	<p>Дорожко В.<sup>1</sup></p> <p>МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СУШЕНОЇ ПРОДУКЦІЇ З МОДИФІКАЦІЄЮ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ</p> <p><sup>1</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України, факультет харчових технологій та управління якістю продукції АПК, Київ, Україна</p>	246
8. FORESTRY		
8.1	<p>Гуцько С.<sup>1</sup></p> <p>ЗАКОНОМІРНОСТІ ВМІСТУ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ВІД ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ В УМОВАХ СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я</p> <p><sup>1</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара</p>	257



8.1.1.1	ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ: ДЖЕРЕЛА, ПОКАЗНИКИ ТА ОЦІНКА	258
8.1.1.2	ІДЕНТИФІКАЦІЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ КОНЦЕНТРАЦІЮ ТА ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ	260
8.1.1.2.1	БІОЛОГІЧНА РОЛЬ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ	261
8.1.1.3	ХАРАКТЕРИСТИКА КОРЕЛЯЦІЙНОГО ТА РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗІВ	264
8.1.1.4	ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	267
8.1.1.4.1	ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	267
8.1.1.4.2	ҐРУНТИ СУХУВАТОГО БОРУ	271
8.1.1.4.2	МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	271
8.1.2.1	ВМІСТ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ВАЛОВІЙ ФОРМІ В КОРЕНЕВОНАСИЧЕНОМУ ШАРІ ҐРУНТІВ	273
8.1.2.2	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ҐРУНТІВ	278
8.1.2.3	РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ГУМУСУ В ҐРУНТАХ ДОСЛІДЖУВАНИХ БІОГЕОЦЕНОЗІВ	280
8.1.2.4	КОРЕЛЯЦІЙНИЙ ЗВ'ЯЗОК ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З МЕХАНІЧНИМ СКЛАДОМ І ОРГАНІЧНОЮ РЕЧОВИНОЮ ҐРУНТУ	287
9.	INFORMATICS AND CYBERNETICS	
9.1	Andrushchak I. <sup>1</sup>  ASPECTS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AS A COMPONENT OF INFORMATION SECURITY  <sup>1</sup> Lutsk National Technical University	292
10.	INFORMATICS, COMPUTING AND AUTOMATION	
10.1	Hengyi Z. <sup>1</sup>  NEURAL NETWORK-BASED CONTROL OF MAGNETIC RESONANCE PROCESSES FOR IMPROVED OUTCOMES IN INTELLIGENT MATERIAL FABRICATION  <sup>1</sup> Universitario Tecnológico Universitam	301
10.2	Kozlov V. <sup>1</sup> , Tomashevskaya T. <sup>1</sup>  АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ BUSINESS INTELLIGENCE  <sup>1</sup> Department of Computer Science and Information Technology, State University of Trade and Economics, Kyiv	312

11.	<b>MATH</b>	
11.1	<p>Trofimova L.<sup>1</sup></p> <p><b>MODELING THE CHARACTERISTIC FEATURES OF THE PROCESSES OF STRUCTURE FORMATION IN SOME BUILDING COMPOSITES</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Technology of Building Industry, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine</p>	324
12.	<b>MECHANICAL ENGINEERING</b>	
12.1	<p>Hutyria S.<sup>1</sup>, Yahlinskyi V.<sup>1</sup></p> <p><b>SIMULATION OF VIBRATION RESISTANCE OF A TOOL HOLDER WITH DYNAMIC VIBRATION DAMPER</b></p> <p><sup>1</sup> Odessa Polytechnic National University</p>	358
13.	<b>MECHANICS</b>	
13.1	<p>Котенко К.Е.<sup>1</sup></p> <p><b>ВПЛИВ НЕСТАЦІОНАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ І ПРУЖНОСТІ СЕРЕДОВИЩА НА ДИНАМІЧНУ ПОВЕДІНКУ ТРИЩАРОВИХ ОБОЛОНКОВИХ СТРУКТУР</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра теоретичної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури</p>	367
14.	<b>ZOOTECHNICS</b>	
14.1	<p>Вінюков О.<sup>1</sup>, Вінюков А.<sup>1</sup></p> <p><b>РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ У РАЦІОНІ ПЕРЕПЕЛІВ</b></p> <p><sup>1</sup> Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція Національної академії аграрних наук України</p>	378
	<b>REFERENCES</b>	
		388

## SECTION 1. AGRONOMY

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.1.1

### 1.1 Питна вода на шляху техногенного розвитку

Відомий французький письменник Антуан де Сент-Екзюпері писав: «Вода! Ти не маєш ні смаку, ні кольору, ні запаху, тебе не опишеш, тобою насолоджуються, не знаючи тебе. Ти не просто необхідна для життя: ти і є життя. Ти найбільше в світі... багатство..!» Вода — невід'ємна складова частина навколишнього середовища. У рідкому, твердому, газоподібному стані вона виконує тільки їй властиві життєво важливі функції. Вона постачає рослинам з ґрунту весь набір елементів мінерального живлення, бере участь у всіх хімічних реакціях. Однак запаси її в природі не безмежні, витрати надзвичайно великі [1].

Наше сьогодні — це початок третього тисячоліття. Відомо, що початок першого тисячоліття у всесвітній історії пройшов під знаком Чекання Мессії, початок другого тисячоліття знаменувався пророкуваннями кінця світу, а початок третього тисячоліття усвідомлюється здебільшого як кінець історії людства. Відоме питання «бути чи не бути» сьогодні виходить за межі життя однієї людини і адресується всій цивілізації .

Сягнувши високого рівня прогресу на шляху техногенного розвитку, людство тим самим створило реальну загрозу своєму існуванню. Аналіз історичного розвитку суспільства свідчить про те, що цей процес постійно спрямовувався на освоєння, споживання і, зрештою, на виснаження природних відновлюваних і невідновлюваних ресурсів життєзабезпечення й відповідних природних умов. У свою чергу, це спричинило істотні зміни у природних процесах, які негативно вплинули на розвиток усього живого на Землі, на збереження існуючих і відтворення майбутніх поколінь людей .

Відомо, що першопричиною 90 % екологічних негараздів у світі є неадекватна, неякісна в екологічному розумінні інформація, якою

послугувалося і послугується суспільство. Лише 10 % усіх екологічних катастроф зумовлені дією стихійних природних явищ.

Усього цього майже не спостерігалось на ранніх етапах розвитку суспільства, коли людей на Землі було не так багато, природні ресурси здавалися практично невичерпними, а способи їх освоєння були настільки примітивними, що майже не позначалися на процесах саморегулювання. Людина у таких умовах поставала невід'ємною складовою природи і була підпорядкована збалансованим потокам речовини, енергії та інформації. Водночас невпинно зростав обсяг генерованої людиною (суспільством) інформації, з'являлися нові культурні здобутки, серед яких у міру історичного розвитку суспільства дедалі більшої ваги набували передусім способи, технології матеріального виробництва, зорієнтовані на збільшення обсягів використання природних ресурсів [2].

Питання взаємодії людини з природою вперше порушив у 1969 р. Генеральний Секретар ООН У. Тан. У його доповіді на загальних зборах ООН пов'язані між собою явища демографічної лавини, вичерпування природних ресурсів і забруднення довкілля кваліфікуються як насування глобальної екологічної катастрофи. Історична доповідь У. Тана — це зразок першого системного підходу до давньої, як світ, проблеми співіснування людини і природи, яку з того часу почали розглядати з позиції настійної вимоги жити за законами природи й враховувати обмеження, які вони накладають.

За рівнем життя, його тривалістю й рівнем освіти (індексом розвитку ООН) нині Україна перебуває у другій сотні держав світу, причому за цими показниками в 1994 р. вона посідала 45-те, а в 1997 р. — уже 94-те місце. Сьогодні рівень смертності в Україні істотно перевищує рівень народжуваності (сотні тисяч осіб щорічно).

Невпинне поглиблення екологічної кризи, а точніше, кризи відносин суспільства з природою, а також війна, зумовили необхідність радикальних змін щодо цілей і пріоритетів розвитку.

На цьому шляху особливе місце належить «Загальнопланетарному саміту» (Конференції ООН) з природного середовища і розвитку («РІО-92»), що відбувся

в Ріо-де-Жанейро. На саміті було задекларовано принципи стійкого екологічно безпечного розвитку та прийнято два історичних документи: «Декларація у справі природного середовища і розвитку» і «Глобальна програма дій — Порядок денний 21» («Агенда-21»).

Керівники 179 країн — членів ООН і 17 тис. активістів, які представляли неурядові кола з усього світу, закликали уряди всіх країн і громадян Землі до запровадження принципів стійкого екологічно безпечного розвитку у сфері соціальної, економічної й екологічної політики.

Питання про *стійкий екологічно безпечний розвиток* уперше було поставлене Світовою комісією з навколишнього середовища та розвитку, очолюваною прем'єр-міністром Швеції пані Г. Брундтланд (Комісія Брундтланд). У доповіді цієї комісії «Наше спільне майбутнє» наведено визначення цього поняття: *«Стійкий розвиток — це такий розвиток, який забезпечує потреби нинішнього покоління без завдання шкоди можливості майбутнього покоління забезпечити свої власні потреби»* [3]. З того часу розпочалася активна міжнародна діяльність у напрямку комплексного розв'язання завдань охорони довкілля та підвищення рівня економіки усіх країн світу .

Людина здавна мріяла про безсмертя. Мандрівники в заморських країнах, алхіміки в лабораторіях настирливо шукали еліксир життя та джерело вічної молодості. Та вони й не здогадувалися, що таємничий еліксир — це звичайна вода. Та сама вода, що заповнює моря, озера, річки, випадає на землю дощами, вкриває її сніговим покривалом. Вода, без якої не можливе існування всього живого.

Тисячі років може лежати в сухій землі зерно, та доторкнись його життєтворча крапля води — воно оживає. В усі часи вода перетворювала засушливі степи на плодотворні поля, а спекотні піски — в квітучі оазиси.

Світ походить від води — говорив Фалес Мілетський, один зі стародавніх мудреців. А й справді, історія Землі — це перш за все історія води. У воді виникло життя. Різноманітна і щедра, беззахисна і сильна, вода безперервно

змінювала і змінює обличчя нашої планети. То тече в річках і океанах, то парую піднімається в хмари, то покриває водойми льодом [4].

Що ж таке вода? Здається, простішого запитання не можна придумати, бо вода — це звичайна рідина, яка давно всім відома, а навколо стільки води, що про які дива можна говорити. Постривайте, не поспішайте робити висновки, оскільки звичайна вода є надзвичайно цікавою, невідомою речовиною. Вона заслуговує бути названою 8-м чудом світу. І сьогодні ми переконаємося в цьому.

З чого ж нам почати? Почнемо з Книги книг. У Біблії є такі рядки:

Біжать усі ріки в море,

Але ж моря не переповнюються;

До місця, звідки ріки біжать,

Вони повертаються, щоб бігти знову [5].

Звідки ж з'явилася вода? Загальновізнана гіпотеза походження води Світового океану зводиться до того, що майже вся маса води та розчинені в ній речовини надійшли з глибинних надр Землі — з мантії. Яким був склад Світового океану в ті часи — невідомо. Можна лише припустити, що вода була дуже мінералізованою і солоною, оскільки виділялася разом із розплавами, газами, паром, димом при підвищеній температурі. Первинний океан, очевидно, покривав усю або майже всю планету. При цьому глибина його була незначною. Постійно та інтенсивно випаровуючись, вода оповивала Землю густими хмарами (подібно тим, що оточують Венеру), з яких випадали значні опади (дощі). Саме цей процес і спричинив появу прісної води, що становить 3 % світових водних запасів. Як відомо, Світовий океан займає площу 361 млн км<sup>2</sup>, або 71 % поверхні Землі. В ньому зосереджено 97% усіх запасів води нашої планети. Наша планета — голуба планета — єдина в Сонячній системі має водяну оболонку. Іноді кажуть, що доречніше було б її назвати не Землею, а Океаном [6].

Воду завжди вважали джерелом усього живого. Вона слугувала середовищем, в якому в процесі довготривалої еволюції на нашій планеті розвивалися рослини й тварини. Встановився нерозривний зв'язок людини з водою, оскільки вода є постійним учасником біохімічних процесів, що

відбуваються в живих організмах. Саме завдяки цій властивості вона стала «носієм життя». То ж поговоримо детальніше про роль води в житті людини. Вода потрібна для життєдіяльності рослин, тварин, людини. Людина постійно використовує воду для життя, приготування їжі, миття, прання, відпочинку, спорту, транспортного сполучення і т.д. Одна людина в середньому споживає близько 600 т прісної води за рік, ще 200 т щорічно їй потрібно на санітарні цілі. Незрівнянно більше води витрачається на різних промислових об'єктах. Так, для виробництва 1 т міді необхідно 500 м<sup>3</sup> прісної води, 1 т нікелю — 4000 м<sup>3</sup>.

Щодня дорослій людині потрібно 2—2,5 л питної води. А щоб організм справно працював, води необхідно в 4—5 разів більше, тобто 7—10 л. В організмі дорослої людини 68—70 % води, в тому числі: у крові — 90 %, м'язах — 75 %, кістках — 28 %. Організм людини важко переносить обезводнення. При втраті 1—1,5 л води з'являється відчуття спраги. Якщо людина втрачає 6—8 % своєї маси за рахунок дефіциту води, в її організмі порушується обмін речовин, гальмуються окиснювальні процеси, зростає в'язкість крові, підвищується температура тіла, прискорюється пульс, червоніє шкіра, з'являється м'язова слабкість, головний біль, в'ялість. При втраті 10 % води патологічні явища стають непоправними. На шкірі з'являються тріщини, западають очні яблука, погіршується зір, спостерігаються спазми в горлі, людина втрачає свідомість. Втрата 21 % води призводить до смерті. Втрата людським організмом води небезпечніша, ніж позбавлення його їжі: без їжі людина може прожити до 40 днів, а без води вмирає на восьму добу. Шкодить людині і надмірне вживання води. Природа, створюючи людину, мудро наділила її «тепловим реле», яке має чудову властивість саморегулювання. Нормальна температура нашого тіла коливається в дуже вузькому інтервалі: 36,6—37 °С. Відхилення від цієї норми навіть на кілька десятих градуса свідчить про захворювання, порушення функціонування того чи іншого органу. До цього часу науці не вдалося зрозуміти секрет механізму теплового саморегулювання. Ясно лише одне: таке регулювання неможливе без участі крові. Але кров — це перш за все вода. І тоді на автоматизм саморегулювання можна подивитися по-іншому. Справа полягає

у здатності води (крові) забирати (і відповідно повертати) теплоту такими великими кількостями, які не під силу будь-якій іншій рідині. Кращого теплоносія, ніж вода, природа не знає. Вода відіграє важливу роль у підтриманні постійної температури (терморегулювання) організму. Зі зниженням температури зовнішнього середовища в ньому зростає утворення теплоти в результаті окиснювальних процесів, що запобігає охолодженню тіла. З підвищенням температури навколишнього середовища кровозабезпечення шкіри та її нагрівання зростає, що сприяє кращій тепловіддачі. За таких умов збільшується виділення поту. Його випаровування з поверхні шкіри забезпечує більшу віддачу теплоти та запобігає перегріванню організму [7].

Таким чином, вода в житті людини відіграє дуже важливу роль.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, більш ніж 80% всіх захворювань – результат вживання екологічно-брудної води. Людина, користуючись водопровідною водою, за своє життя пропускає через свій організм до 300 кг хімічного бруду. У країнах, що розвиваються, через погану якість води щорічно помирає 9 млн. людей, а на початок цього сторіччя питної води вже не вистачало більш ніж 1 млрд. людей. На даний час в кожную квартиру в нашій країні постачається водопровідна вода, яка призначена для повсякденного вживання. Хоча розрізняють воду харчову (питну) та господарсько-побутову, але так склалося, що наше населення ще до недавнього часу не робило особливої різниці між цими видами води, тому що вся вона надходить з системи централізованого водопостачання. Якість цієї води визначається тим, на скільки місцева влада та відповідні служби в особі «Водоканалів» та санепідемстанцій піклуються про здоров'я громадян.

Незважаючи на скорочення промислового виробництва та викиду відходів підприємств у річки, екологічний стан водойм не покращився. Тому альтернативою водопровідній вважається бюветна вода., яка стала доступною мешканцям великих міст за останні 5-6 років. До того ж деякі спеціалісти в області екології вважають воду з бюветів та свердловин єдиною, яку можна вживати сьогодні. Погана якість води у системах водопостачання призвела до



того, що поступово у нашій країні вода з дару природи перетворюється у товар. Дивлячись на розвинуті країни, де високоякісна питна вода вважається цінним продуктом і продається в торгових мережах, вітчизняні бізнесмени зробили бутильовану питну воду поширеним товаром на українському ринку.

Тим не менше, потрібно констатувати, що і ця платна вода не завжди є якісною. Поряд з водою з чистих природних джерел пляшки наповнюються водою з систем водопостачання, яка піддається додатковому очищенню, проте виробники не вказують необхідну інформацію на етикетці. Зараз ми, звичайно, поведемо мову про проблеми водопостачання. В більшості випадків вода, що поступає в мережу, потребує попередньої обробки, метою якої є доведення якості води до діючих нормативів.

Судити про якість води і її відповідності чи невідповідності встановленим нормам можна лише на основі максимально повного хімічного і бактеріологічного аналізу. Основні неприємності з водою, з якими доводиться зіштовхуватись наступні:

1. Наявність в воді нерозчинних механічних часток, піску, домішок, іржі, а також колоїдних речовин. Їх наявність в воді призводить до прискореного зношування труб та сантехніки, а також їх засмічування.

2. Наявність у воді розчиненого заліза та марганцю. Така вода спочатку прозора, але при відстоюванні чи нагріві набуває жовто-бурого забарвлення.

3. Жорсткість, яка визначається кількістю розчинених у воді солей кальцію і магнію. При їх високому вмісті можливе випадання осаду. Солі кальцію і магнію які також називають солями жорсткості є причиною всім відомого накипу на посуді, який порушує теплообмін. Це призводить до перегріву нагрівальних елементів, перевитрат електроенергії і газу. Відкладання накипу є причиною 90% поломок водонагрівачів.

4. Наявність в воді неприємного смаку, запаху і кольору. На ці три параметри, які прийнято називати органолептичними показниками можуть впливати наявні в воді органічні речовини, сірководень.

5. Бактеріологічна забрудненість. Викликана наявністю в воді різних мікробів чи бактерій. Деякі з них можуть представляти безпосередню загрозу здоров'ю і життю людини, але навіть порівняно безпечні бактерії в процесі своєї життєдіяльності виділяють органічні речовини, які не лише впливають на органолептичні показники води, але і вступаючи в хімічні реакції, здатні створювати отруйні і канцерогенні сполуки.

В умовах незадовільної якості питної води у більшості населених пунктів України люди змушені вживати індивідуальні засоби її очищення. До них відносяться, в першу чергу, побутові водні фільтри, які відрізняються як за засобами очищення, так і за ціною. Це індивідуальні фільтри кувшинного типу, фільтри, які вбудовуються у систему квартирного (офісного) водопостачання і фільтри для водопостачання котеджів. Який з них обрати – залежить тільки від вподобань та фінансових можливостей споживача [8].

Від якості питної води залежить здоров'я населення, тому ця тема повинна завжди бути актуальною в державних програмах і рішеннях, залишаючи споживачам роль зацікавлених учасників цих процесів. Багато хто вважає однією з причин старіння організму пониження здатності клітин зв'язувати необхідну для обміну речовин кількість води, так звану вікову дегідратацію. Вода є основним середовищем, в якому протікають чисельні хімічні реакції і фізико-хімічні процеси обміну речовин. Організм строго регулює вміст води в кожному органі, кожній тканині. Постійний певний вміст води – одна з основних умов нормальної життєдіяльності. Вода, на перший погляд просте з'єднання двох атомів водню і одного атома кисню, є без перебільшення основою життя на землі. Не випадково вчені в пошуках життя на інших планетах стільки зусиль направляють на пошуки слідів води. Здавалося б воду треба цінувати, ощадливо використовувати і обережати від шкоди. Насправді ж нею не дорожать, забруднюють і недоцільно вживають. Водні ресурси чим далі більше забруднюються неочищеними промисловими відходами, або використовуються так, що вже нездатні самовідновлюватись. Скидання відходів, що здійснюється з порушенням необхідних вимог, забруднює водні джерела – часто непоправно [9].

Ось далеко не повний перелік функцій води в нашому організмі:

- Регулює температуру тіла;
- Зволожує повітря при диханні;
- Забезпечує доставку поживних речовин і кисню до всіх клітин тіла;
- Захищає і є буфером життєво важливих органів;
- Допомагає перетворювати їжу на енергію;
- Сприяє кращому засвоєнню поживних речовин органами;
- Виводить шлаки і відходи процесів життєдіяльності.

Не менш важливе значення має мінеральний склад води. Для постійного пиття і приготування їжі придатна прісна вода з загальною мінералізацією від 0,5 до 1 г/л. Хоча, звичайно, в обмежених кількостях можливе (а іноді навіть корисне, в лікувальних цілях) вживання мінеральної води з підвищеним вмістом солей. Організм людини дуже швидко адаптується до змін сольового складу питної води. Однак, процес звикання потребує деякого часу. Тому при різкій, а тим паче частій зміні характеристик води можливі порушення діяльності шлунково-кишкового тракту, відомі в народі як хвороба мандрівників [10].

Велика частина питної води – це ґрунтові води. В основному дощова вода а також тала вода просочується через ґрунт. Там вона розчиняє органічні речовини і насичується киснем. Глибше знаходяться пісок, глина, вапняні шарі. В них органічні речовини в більшості відфільтровуються, а вода починає насичуватись солями і мікроелементами.

В загальному, на якість ґрунтових вод впливають кілька факторів:

1. Якість дощової води (кислотність, насиченість солями)
2. Якість води в підземному резервуарі – вік такої води може налічувати десятки тисяч років.
3. Характер шарів, через які проходить вода.
4. Геологічна природа водоносного шару.

Найбільше в ґрунтових водах зустрічається кальцій, магній, натрій, калій, залізо і меншій – марганець. Концентрація солей залежить від глибини. В найбільш старих, глибоких водах концентрації солей такі великі, що вони мають

явно солонуватий смак. До цього типу відноситься більшість відомих мінеральних вод. Найбільш якісну мінеральну воду отримують з вапняних шарів, але глибина їх залягання може бути досить великою. Грунтові води характеризуються достатньо високою мінералізацією, жорсткістю низьким вмістом органічних речовин і відсутністю мікроорганізмів. Питання якості питної води торкається дуже багатьох аспектів життя суспільства протягом всієї історії його існування. На сьогодні питна вода – це проблема соціальна, політична, медична, географічна, і, звичайно, інженерна і економічна. Питна вода – вода, що відповідає по своїй якості встановленим нормам і призначена для задоволення питних побутових потреб людства. Мова йде про вимоги та сукупність властивостей і складу води, при яких вона не викликає поганого впливу на організм людини. В якості джерел водопостачання використовуються водопроводи і колодязі. Як правило, для того, аби вода відповідала вимогам, необхідно проводити процедуру її очистки.

В останнє десятиліття в результаті інтенсивного антропогенного впливу помітно змінився хімічний склад не лише поверхових але й підземних вод. Не дивлячись на відносно високу захищеність (в порівнянні з поверхневими) від забруднення, в них вже знаходять олово, ртуть, мідь, цинк. Звичайно, що концентрація важких металів в підземних водах зростає на території поблизу великих міст і промислових центрів. Сьогодні споживачі води зіштовхуються з певними труднощами. *Так до лабораторій по аналізу води звертаються з такими питаннями: чому вода має неприємний смак та запах, чому вода мутна та жовтого кольору, чому водонагрівальні прилади покриваються густим накипом, та інші схожі питання.* Аналіз проб води по ряду хімічних і мікробіологічних показниках дає відповіді на окремі питання. Лабораторії по аналізу питної води централізованого і нецентралізованого водопостачання вже сьогодні чітко визначають тенденції росту випадків виявлення в водах свердловин нітратів, фосфатів, що свідчить про викиди в водоносні шари мінеральних і органічних добрив. На даний час, можливо в зв'язку з застосуванням мінеральних добрив, що містять значні домішки фторидів, зросла

концентрація фторид-іонів не лише в поверхових, але й в підземних водах. Дуже часто досліджувані проби вод характеризуються вмістом заліза й солей жорсткості, які значно перевищують оптимальний фізіологічний рівень і, відповідно, санітарно-гігієнічні норми. Залізо в водному середовищі присутнє частіше за все в формі бікарбонату, окису, сульфідів. В останні роки намітилась тенденція виявлення сірководню і сульфідів у воді, як наслідок забруднення води органічними сполуками і бактеріями. Крім того, споживач може зіштовхуватись з проблемою мікробіологічної безпеки води – адже навіть вода з підземних джерел може містити окремі клітини патогенних мікроорганізмів, але основну загрозу несе вода, яка повторно забруднюється мікробами при порушенні герметичності водопровідної мережі. В воді джерел водопостачання виявляють декілька тисяч органічних речовин різних хімічних класів і груп. Органічні сполуки природного походження, які здатні змінювати властивості води. По результатам аналізів оцінюється склад води по технологічним і токсикологічним показникам і видаються рекомендації по корегуванню складу води з врахуванням концентрації компонентів і технології очистки [12].

В Україні основним документом, що стосується води є Закон «Про питну воду і питне водопостачання». Закон визначає правові, економічні і організаційні основи функціонування системи питного водопостачання, спрямовані на гарантоване забезпечення населення якісною і безпечною для здоров'я людини питною водою. Документ визначає, що ***питна вода – це вода, яка по органолептичним властивостям хімічному і мікробіологічному складу і радіологічним показникам відповідає державним стандартам і санітарному законодавству.*** Відповідно закону, джерелом питного водопостачання є водний об'єкт, вода якого використовується для питного водопостачання після відповідної обробки чи без неї. Нормативи питного водопостачання розраховуються з кількості питної води, необхідної для забезпечення питних, фізіологічних, санітарно-гігієнічних і побутових потреб однієї людини на протязі доби в певному населеному пункті, окремому об'єкті чи транспортному засобі при нормальному функціонуванні системи питного водопостачання , при його

порушенні і при надзвичайних ситуаціях техногенного чи звичайного характеру. Дія цього закону поширюється на всі суб'єкти господарювання, які виробляють питну воду, забезпечують міста, інші населені пункти та окремо розташовані об'єкти питної води шляхом централізованого питного водопостачання чи при допомозі пунктів розливу води (в тому числі пересувних), застосування установок чи інших засобів нецентралізованого водопостачання а також на органи виконавчої влади і органи місцевого самоврядування котрі здійснюють регулювання нагляд і контроль за якістю питної води станом джерел і систем питного водопостачання, а також споживання питної води [12].

*Отже , яка ж це якість питної води і яким земним критеріям вона має задовольнити? Де така вода існує, чи ця вода сьогодні доступна людині, чи це лише особлива, «елітна» вода?* Проблема якості питної води сьогодні сильно ускладнилась проблемами екологічними і через воєнні події.

Справа в тому, що людина своєю безглуздою екологічною політикою, сама себе сьогодні загнала в глухий кут. *Можна сказати, що всі поверхневі води сьогодні хворі через екологію, через людину. У води є дуже важлива характеристика (властивість), вода запам'ятовує все з чим вона контактувала. Ця властивість води лежить в основі гомеопатії, а більш ширше — в основі інформаційної медицини. Сюди ж тепер відноситься екологічна пам'ять води. Оскільки, людина — це система природи, яка складається з води і органічних молекул, та невеликої кількості основних неорганічних елементів, то для нормального функціонування організму, людина щоденно повинна вживати якісну природну «живу» воду, якої все менше і менше на Землі. Людині потрібна поверхнева питна вода, яка щоденно «бачить» космос, від якого одержує життєву енергію. Ще раз наголосимо: людина і лише людина зробила все, щоб такої води на землі не було. Сьогодні поверхнева питна вода хвора. В свою чергу, від хворої води не може бути здорова людина. Дуже вірний висновок в свій час, зробили «Природа хвора людиною!» Звідси аксіома нашого життя на землі:*

«Лікуючи Природу — людина лікує себе». *Отже якість питної води для людини — це сьогодні якість її життя, якість її здоров'я.*

Стандартизація якості питної води є одним з найважливіших профілактичних заходів і має велику історію. Критерії безпеки води для здоров'я людей змінювалися з розширенням медичних і біологічних знань. Відповідно відбувалися зміни і в структурі гігієнічних вимог до води. Відповідно до вимог нормативних документів, питна вода джерел водопостачання досліджується за хімічними, бактеріологічними, радіологічними та гідробіологічними показниками: щоденно - за 20 показниками; щомісячно - за 47 показниками; щорічно - за 75 показниками. Зважаючи на вищезазначене, можна зробити висновок, що пити воду з-під крана не є шкідливим. І тут виникає інша проблема - хлорування. Хоча це найефективніший і найоптимальніший спосіб очищення, але, окрім неприємного запаху, хлор, вступаючи в реакцію з деякими органічними речовинами, утворює так звані тригалометани - канцерогенні сполуки, які вкрай шкодять організму людини. Американські вчені провели дослідження і з'ясували залежність між онкозахворюваннями та вживанням хлорованої води. Онкологи вважають, що споживачі такої рідини скорочують своє життя на десять років. Багато хто скаже, що кип'ятить воду і таким чином очищає її, але насправді, якщо рідина забруднена, під час цього процесу кількість нітратів зростає.

Порівняємо вимоги нормативної документації України з європейськими: Стандарт Всесвітньої організації здоров'я ще у 1970 році регламентував наявність 9 речовин, стандарт 1994 року - 27, стандарт 2019 року - 95 речовин. Останні вимоги покладені в основу Директиви 80/778 ЄС, яка регламентує якість питної води в країнах Європейської спільноти [13].

Кращою від водопровідної води є бюветна. Однак якість її не завжди гарантована. Бюветна вода не містить хлору, але до неї можуть потрапляти важкі метали, поверхнево-активні речовини. Крім того, у мікробіологічному відношенні вона є небезпечною і потребує обов'язкового кип'ятіння. При кип'ятінні води утворюється осад. Останній свідчить про те, що кількість

мінералів у ній зменшилась. Цей факт підтверджує те, що вода містить мінерали, завдяки яким вона має смак і корисна для здоров'я.

Вода в великій кількості використовується людиною і потребує дуже бережливого ставлення до себе та зберігання її первинної природної якості. Густота населення в містах, розвиток промислового та сільськогосподарського виробництва породили найгострішу проблему сучасності – проблему боротьби з забрудненням водних джерел, для вирішення якої необхідна розробка складних організаційних та технічних заходів. Навколишнє природне середовище зазнає негативного впливу від шкідливих викидів в атмосферу, скидів забруднених стоків та розміщення токсичних відходів. Продовжують мати місце низькотехнологічні та ресурсоемкі виробництва, збільшується знос та морально старіють очисне обладнання і технології. Недостатній контроль екологічних служб за забрудненням водного середовища підприємствами, організаціями, установами. По запасах місцевих водних ресурсів Україна вважається однією з найменш забезпечених країн Європи. На жаль, загальна тенденція за останні 10 років залишається такою: не дивлячись на скорочення об'єму водоспоживання, зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси, зокрема по скидах забруднених вод, не відбувається. В даний час перебування наслідків воєнних подій склалася напружена ситуація із забезпеченням населення України доброякісною питною водою. Основним критерієм якості питної води є її вплив на здоров'я людини. Нешкідливість води забезпечується відсутністю в ній токсичних і шкідливих для здоров'я домішок антропогенного і техногенного походження. Дослідження останніх років показали, що кожні 4-5 проба води з водоймищ I і II категорії не відповідала гігієнічним нормам за санітарно-хімічними і кожна 3-4 - за мікробіологічними показниками. Пріоритетними забруднювачами на протязі багатьох років залишаються органічні сполуки, зважені речовини, нафтопродукти, феноли, СПАР, важкі метали та ін.

Забезпечення населення якісною питною водою - це комплексна проблема і повинна охоплювати заходи правового, економічного, організаційного та науково-технічного характеру. До термінових заходів повинні бути віднесені:



- Розробка Закону України «Про питну воду»;
- Удосконалення існуючих систем водопостачання, приведення їх у відповідність зі станом джерел водопостачання;
  - Впровадження нових ефективних технологій і методів очищення води;
  - Розвиток альтернативних способів водопостачання.

Наявність еталону на природну питну воду дозволить проводити постійно співставлення якості будь-якої питної води із питною водою, яка максимально відповідає властивостям внутрішньоклітинній воді організму людини. Введення такого еталону це питання сьогодення, виходячи із постійного контролю якості питної води, яку має пити людина сьогодні, питної води, яка повинна гарантувати здоров'я людини. Взагалі стан питної води у країні є показником не тільки якості життя, а й її безпеки. На даному етапі свого дослідження актуальних проблем стану питної води ми розуміємо, що *вода у великій кількості використовується людиною і потребує дуже бережливого ставлення до себе та зберігання її первинної природної якості.*

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.1.2

## **1.2 Дослідження переходу традиційного способу ведення агрогосподарства до альтернативного біоорганічного вирощування сільськогосподарських культур**

Нині сільськогосподарське виробництво в Україні спрямоване на досягнення максимальних економічних вигод без належних заходів щодо підвищення родючості ґрунтів та витрат на охорону земельних ресурсів. У зв'язку з надмірним навантаженням на земельні ресурси виникає комплекс глобальних і регіональних екологічних проблем у сільськогосподарському виробництві, а саме: втрата ґрунтами природної родючості, їх деградація, виснаження, поширення вітрової та водної ерозії, забруднення довкілля засобами хімізації, радіонуклідами, важкими металами, відходами тваринництва тощо. Це призводить до погіршення якості стану агроєкосистем [14].

З метою забезпечення збалансованого розвитку агроєкосистем та раціонального природокористування важливе значення має перехід аграрного сектора на альтернативні методи господарювання. У загальній тенденції людство позбувається вікових здобутків природи, а саме цінних найродючіших шарів ґрунту, включаючи його складову – гумус [15]. Багато вітчизняних та зарубіжних науковців присвятили свої дослідження сучасним проблемам екології. Існують суттєві порушення в науково обґрунтованих сівоzmінах сільськогосподарських культур, що в свою чергу виснажує ґрунти, збільшує чисельність шкідливих організмів на посівних площах. Знижується загальна культура землеробства, що приводить до виснажливого характеру використання землі, погіршення якісного стану сільськогосподарських угідь. На сьогоднішній день сільське господарство України зазнало низки проблем екологічного характеру, а саме: втрата ґрунтами природної родючості, їх деградація, виснаження, поширення вітрової та водної ерозії, забруднення довкілля засобами хімізації, радіонуклідами, важкими металами, відходами тваринництва тощо. Це призводить до погіршення якісного стану сільськогосподарських земель [16].

Тому, важливу роль на шляху екологізації сільськогосподарської галузі

мають відігравати системи екологічного землеробства, які базуються на використанні суто органічних добрив, методах нехімічного контролю за поширенням бур'янів, шкідників, хвороб, зберіганні продуктів харчування і кормів без синтетичних добавок; спираються на передові технології, гарантують високу якість продуктів харчування, економно та ефективно використовують ресурси землі, підтримуючи природний баланс в аграрному землекористуванні [16]. Водночас аналіз наукових праць щодо розв'язання екологічних проблем аграрного землекористування свідчить, що на сучасному етапі розвитку сільського господарства потребують узагальнення та поглиблення теоретико-методичні підходи до земель сільськогосподарського призначення. Дослідження полягає в удосконаленні інноваційно-інвестиційних засад забезпечення розвитку екобезпечного землеробства. Наведено рекомендації щодо напрямків активізації діяльності у сфері екологізації аграрного землекористування, підвищення родючості ґрунтів збалансованого використання наявного земельно-ресурсного потенціалу в аграрній галузі.

За останні 100–120 років ґрунти України втратили 8–10% гумусу. Нині вміст поживних речовин в орному шарі зменшився у 2,5–3 рази. Внаслідок інтенсивного обробітку землі, використання агрохімікатів і далі виснажується, тоншає її родючий шар. Крім того, рослини, вирощені на деградованих ґрунтах, вражаються багатьма хворобами. Споживаючи такі продукти, співвітчизники наражають на небезпеку своє здоров'я [17].

Якісні параметри рослинницької продукції визначаються низкою агроекологічних факторів. По-перше, кількісні параметри якості продукції залежать від ґрунтових і кліматичних особливостей агроєкосистеми; по-друге, – від виду тієї чи іншої агротехнології вирощування та строків і своєчасності виконання складових певних операційних систем; по-третє, – від сорту, лінії чи гібриду, за умов їх своєчасного оновлення тощо. Забезпечити високу урожайність сільськогосподарських культур за якісними показниками шляхом поєднання найважливіших факторів, що їх зумовлюють, досить складно: в динаміці (у сівоzmіні) ці показники будуть істотно різнитися. Проте тенденція,

зазвичай, зберігатиметься, порівняно з варіантами, на яких аналогічних агротехнологій не застосовано або недотримана своєчасність їх виконання. Впровадження до традиційних агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур шляхом додавання елементів біологізації дає можливість розв'язати питання з поліпшення якості рослинницької продукції та відновити екологічний стан агроєкосистеми, проте непередбачувані фактори (погодно-кліматичні аномалії, агротехнічні огріхи) можуть призводити до відсутності бажаних результатів. Пестициди, будучи активними хімічними речовинами, можуть впливати на біологічні процеси, які протікають в рослинах, змінюють їх зовнішній вигляд, смакові якості та біологічну цінність продуктів харчування. Небезпеку для здоров'я людини становлять не тільки залишкові кількості отрутохімікатів, а й продукти їх розпаду, які в деяких випадках, можуть бути навіть більш токсичними, ніж самі препарати. Така ситуація, враховуючи міграційні особливості агрохімікатів у харчових ланцюгах, підвищує рівень внутрішнього забруднення організму людини абіотичними елементами, яке починається в період внутрішньоутробного розвитку й триває протягом усього життя, що обумовлює високу питому вагу по ширеності ряду захворювань серед дітей і дорослого населення. Лікарі все більше б'ють на сполох, що серед факторів ризику багатьох хвороб у людини на першому місці є харчування неякісними продуктами [18].

За Національним стандартом України ДСТУ 4691:2006 термін «біологічна система землеробства» – це система землеробства без застосування хімічних добрив і пестицидів.

В Україні, як і в усьому світі, зростає попит на якісні та безпечні продукти харчування, а особливої популярності останнім часом набуває термін «органічні продукти» та «органічне виробництво». Україна в найближчому майбутньому повинна стати європейським лідером у виробництві екологічно чистого продовольства, оскільки має значну за масштабами Європи площу високопродуктивних земель. Органічне землеробство та відновлення агроєкосистем – це перспективний шлях розвитку сільського господарства в світі

і в Україні [18]. Початківці екологічного землеробства дали різні назви того, що вони робили і тому у світі використовувались різні назви екологічного землеробства. Англійські вчені називали його органічним, в Європі органічним, екологічним і біологічним землеробством. На даний час всі ці назви визнані рівноправними і є синонімами. Проблема назви стала менш важливою, коли екологічний рух досяг суспільної згоди, що ж таке екологічне господарство. Це було досягнуто зусиллями Міжнародної Федерації руху органічного сільського господарства (IFOAM) у 1972 році [18]. В європейських країнах затверджені «правила екологічного сільського господарства: виробництво, переробка, реалізація, маркерування», в яких екологічне сільське господарство (органічне, біологічне, біоорганічне), зображене, як господарство, в якому не використовуються синтетичні, хімічні препарати (добрива, пестициди, ліки, стимулятори росту та ін.) їх заміна натуральними та мінеральними матеріалами. Всесвітні вчені по - різному трактують за змістом рівносильні екологічні господарства. Американські вчені Ю.Д. Максфельт, Дж. П. Реганольд, Р. І. Папендік, Дж. Ф. Пар, акцентують збалансованість сільського господарства, яке охоплює деякі варіанти не традиційного сільського господарства, звичайно назване органічним, альтернативним, регенеративним, екологічним, однак «органічним» або «альтернативним» не значить збалансоване. Для того щоб господарство могло називатися збалансованим, воно повинно виробляти високоякісні продукти харчування, зберігати свої ресурси, не завдавати шкоди навколишньому середовищу і бути прибутковим. Для того щоб збалансоване господарство не було залежало від добрив, воно повинно використовувати, на скільки це можливо, корисні природні ресурси і відновлюючі джерела. Таке господарство допомагає вирішити більшість серйозних проблем, від яких залежать виробництво продуктів харчування у всьому світі : високі ціни на енергоносії, забруднення підземних вод, ерозія ґрунтів, зниження врожайності, виснаження природних ресурсів, нижчий рівень доходів фермерів, погіршення умов навколишнього середовища та збільшення захворюваності не лише людей, але й рослин та тварин різними хворобами [19,20,21]. Вчений Н. Лампскін

підкреслює фундамент екологічного землеробства - земля, як жива система в якій відображаються суті між землею, рослинами, тваринами і людиною. Як в природі взагалі, так і в землеробстві зміна одного компонента такої системи може сильно відобразитися на інших [22]. За твердженнями інших авторів - екологічне сільське господарство (альтернативне, шкодуючи) - це система господарювання, яка спирається на обмінні, на накопичувальні в господарстві органічні добрива (залишки рослин, гній, зелена маса) і методи нехімічного контролю бур'янів, шкідників, хвороб. У системі екологічного господарювання відмовляються від синтетичних добавок, для продовження зберігання продуктів харчування і кормів. Структура ґрунту і покращення родючості - це основа рослинної продукції в екологічному господарстві. Розвиваючи рослинництво, переслідується мета зберегти різносортність і екологічний баланс у середовищі, так зменшуючи спалахи хвороб та число шкідників. Розвиваючи тваринництво, головне звернути увагу на умови утримання тварин, аспекти годування, звертаючи особливу увагу на забезпечення тварин достатньою кількістю екологічних кормів хорошої якості і відповідним ветеринарним доглядом. Досягаючи гармонічного зв'язку між рослинництвом та тваринництвом, дуже важливо знайти правильні співвідношення між вирощуваними в господарстві кормами і кількістю утримуваних тварин. Екологічне сільське господарство це господарство, яке опирається на передові доступні для середовища технології, гарантована висока якість продуктів харчування, їх виробництва, економно використовуючи природні ресурси, підтримуючи природний баланс [17,18,19].

Таке господарювання далекоглядне в порівнянні зі звичайною хімізацією в кількох аспектах: природоохоронний - зберігаються від забруднення поверхневі та підземні води, зберігається життєдіяльність та родючість ґрунту, не руйнується його структура, зберігається верхній врожайний ярус, в дерні живучі мікроорганізми, збільшується їх різноманітність; економічний - використовуються місцеві ресурси, зменшуються виробничі витрати; соціальний - екопродукти не шкодять людському здоров'ю, створюються нові робочі місця, зберігаються малі

господарства; культурний - зберігається етнокультура, зберігається самобутність видів краю.

Цілі екоземлеробства зображені на рис.1[20].

Так як різниця в екологічному і традиційному землеробстві і розкривають суть екологічного землеробства, будемо вивчати їх в першу чергу.



**Рисунок 1.** Концепція розвитку екологічного господарства в контексті розвитку регіонів.

Екологічне землеробство охоплює усі системи сільського господарства. Так зберігається середовище, повноцінність в економічних і соціальних сферах, в екологічному виробництві промислових і харчових продуктів. В цій системі за

основу продуктивності береться життєдіяльність ґрунту, генетична спадковість рослин, тварин, ландшафту. Отже екологічного господарювання оптимізує залежність всіх факторів якості один від одного. Оптимально, коли створюється закритий цикл енергетичного обміну. Ця система знищує чи в більшій мірі обмежує використання комплексних синтетичних добрив, пестицидів, гербіцидів, стимуляторів росту, збільшуючи цим життєстійкість продуктів харчування та кормів. Основа рослинної продукції, обґрунтована підтримка врожайності та структури ґрунту. Це досягається виконанням екологічної політики, досягненням екологічного балансу, з метою збереження різноманітності видів і цим зменшуючи вплив шкідників та хвороб.

В альтернативному землеробстві замість легко засвоюваних продуктів підживлення передбачено їх поповнення із 3 джерел :

- різних органічних матеріалів;
- важкорозчинних мінералів;
- азотфіксуючих рослин [21].

За цими принципами землеробства необхідно удобрювати не рослини, а корисні мікроорганізми, для того щоб вони переробляли продукти повернення (органічні, рослинні) в продукти гумусу, також переробкою в придатні для рослин матеріали з мінеральних ресурсів дерна. Це досягається правильним підбором добре розробленої землі та сівозміною. Основні джерела органічних добрив - гній, компост. Гній використовується свіжий або компостований. Він складається в маленькі купи, в нього додається сіно, паперові відходи, трава, листя, залишки віджимки фруктів і деколи спеціальні препарати. Для підготовки компосту більше значення мають черви. Для цього згрібаються в купи листя, бур'яни інші рослинні відходи і зволожуються. Купа нагрівається, починає проростати насіння бур'янів яке щільно росте. В щільній масі коріння заводяться черви і швидко розмножуються . В добре закритій купі черви розмножуються і взимку. Зрілий компост використовують як добриво, а також для створення нового компосту. В альтернативному землеробстві обов'язково або бажано використання сидератів. Для зелених добрив використовується однорічні або



багаторічні трави та деякі інші культури. Першість надається бобовим, оскільки їх не лише не потрібно підобрювати азотом, але й цим елементом вони збагачують ґрунт, а також сприяють зниженню розповсюдження шкідників на полях, в садах та овочевих площах [22].

Ще в цьому землеробстві визнається неглибока обробка ґрунту. Так досягається екологічна активність ґрунту. Рослинні рештки, гній, поглинаються у верхній ярус, стимулюють розвиток мікроорганізмів, покращують фізичні властивості ґрунту. Неглибока оранка, до 10 см., знижує зараження ґрунту бур'янами, тому що їх насіння і коріння залишаються в більш глибокому ярусі, а не викидаються на поверхню. Інколи неглибока оранка, до 15-20 см., необхідна коли треба перевернути верхній ярус. В інших випадках замість оранки використовується культивація, фрезерування. Створюється «живий ґрунт» багатий на мікроорганізми та черви.

Використовуючи системи альтернативного землеробства, для знищення бур'янів придатні деякі традиційні методи: чисте насіння, механічне знищення бур'янів між рядками, сінозбір бур'янів, а на пасовищах, кормління скота. В наслідок необхідно широко використовувати біологічні способи знищення бур'янів (генетичні сорти, які спроможні конкурувати з бур'янами; чи виділяючи фітотоксини, зупиняючи ріст бур'янів, витісняючи їх), а також використання проти бур'янів шкідників, збудників хвороб [23].

В господарствах активного землеробства підбираючи сорти рослин, необхідно рахуватися з особливостями удобрення, специфікою засобів від хвороб, бур'янів, шкідників. Для вирощування овочів у таких господарствах є рекомендації характеристик в різних умовах вирощування культур окремо (детально). В умовах великої різноманітності ґрунтів та інших умов (підвищена кислотність, сирість, посушливість) рекомендується мати і вирощувати відповідні сорти рослин.

За кількістю врожаю, фермери альтернативних господарств, в більшості випадків, не можуть конкурувати з фермерами традиційних господарств. Задовільна кількість врожаю абсолютно залежить від кількості використання

гною та компосту, а також від площі, яку фермери можуть виділити для бобових культур [24].

Екологічне господарювання потребує не малих змін в системі господарювання, тому тут необхідний 2 - 3 річний перехідний період. Екологічне господарювання відрізняється від інших способів ведення господарства тим, що господарюючи екологічно необхідно дотримуватися строгих правил, встановлених міжнародними інструкціями, а для їх продукції відповідні сертифікати про походження продуктів. Саме сертифікація та маркерування визначають більшу частину попиту на ринку. Діяльність таких господарств, постійно контролюється спеціальними установами, які і видають сертифікати господарству та вирощуваній ними продукції. Сертифікується і інші матеріали, які дозволено використовувати в екологічних господарствах, на підприємствах переробки та реалізації, а також їх продукція.

Відповідно до міжнародних правил лише сертифіковані господарства та підприємства можуть реалізовувати екопродукти. Сертифікація екогосподарства дуже важливий етап в системі реалізації екопродуктів.

За В. Рутповенес, екогосподарювання - це зовсім нова філософія господарювання, новий образ життя, нові технології переробки і виробництва, суворо регламентований процес виробництва сільськогосподарських продуктів. Для впровадження цієї діяльності необхідні наукові знання, практичний досвід, впертість і самопожертва. Однак, американські вчені Дж. П. Рейганольд, Р. І. Паспендик, Дж. Пара джерела такого господарства пов'язують зі східно - азійськими народами (Китай, Корея, Японія) 4 тис. років тому. Екологічним збалансованим господарством вони називають повернення до стародавніх методів землеробства, разом із сучасними технологіями і негативною дією хімічних речовин, що робить сільське господарство екологічно якісними та економічно прибутковими. Автори підкреслюють, що це не повернення до методів землеробства, існуючого до індустріалізації [25].

Вивчаючи екологічне землеробство в економічному аспекті, будемо використовувати матеріали і документи закордонних авторів - С. Падель, Дж. П. Рейганольда, Р. І. Папендика, Дж. Ф. Пара, Л. Еліота, А. Анджерома та ін.

С. Падель піднімає дилему : чи можна з'єднати екологію та економіку? Вона підтверджує, що екологічне господарство спрямоване формувати таке сільське господарство, яке на довгий час стало б основою життя та виробництва, зміцнювало б усі живі організми і було б стабільною системою. Ці задачі, за оцінкою автора, не протистоять економіці, хоча, дуже часто здається, що між вивчаючими науками існує багато протиріч. Вони виникають, тому що не оцінюються зовнішні витрати. Для того, щоб розрахувати недоліки або переваги якого-небудь способу господарства у економічному розумінні, необхідно в цей розрахунок внести такі фактори як, вплив на навколишнє середовище та людей. Таким чином результати якої-небудь господарської діяльності повинні оцінюватись у зв'язку з оточуючим середовищем і сільською земельною площею. Наприклад, якщо б до стічних каналізаційних вод було б введено принцип матеріальної відповідальності за зроблену шкоду, то прогрес зараження питної води нітратами збільшило б витрати (та відповідальність) тих підприємств, які через неекологічні господарства забруднюють ґрунтові води. Якщо всі витрати, пов'язані із захистом від забруднення води, були б компенсовані, то використання гербіцидів, які використовують у сільському господарстві стали б відразу нерентабельними.

Американські вчені, Дж. Рейганольд, Р. І. Папендик, Дж. Ф. Пара [13, стор. 60-65] вивчають економічні питання збалансовано-екологічне сільське господарство і знову ж піднімають питання; чи може бути таке господарювання стабільним, продуктивним та прибутковим? Порівнюючи системи збалансованого та традиційного господарства, один з авторів статті (Дж. П. Рейганольд), працюючи разом з Л. Еліотом та А. Анджеромом з Вашингтонського університету, вивчали дві ферми, які займалися вирощуванням пшениці (стан ґрунту - родючий). На збалансованій фермі (площа 320 га), починаючи з 1909 р., коли вперше була зорана земля, не використовувались

синтетичні добрива та органічні пестициди. На сусідній фермі (520 га) земля оброблялася традиційно з 1908 р. Автори звернули увагу, що врожайність озимої пшениці у 1982-86 рр. була в середньому на 8% меншою в сільському господарстві, але залишалася середньою в цьому регіоні, а показники деяких традиційних ферм були навіть до 13% меншими, ніж на збалансованій. Згадані автори, як і С. Падель, роблять такі висновки, про те, що всі додаткові витрати для охорони навколишнього середовища, здоров'я людини були б занесені до виробничого плану, тоді б збалансовані господарства насправді, стали б прибутковими та корисними для суспільства.

Одним із основних змістовних аспектів органічного землеробства є мілкий обробіток ґрунту. Теоретичною базою ґрунтозахисного мілкового обробітку ґрунту без обороту пласта стало розуміння того, що такий обробіток зберігає природну структуру, капілярність ґрунту, оскільки не руйнує мікроканалів, створюваних черв'яками і корінням, яке розкладається. Головною вимогою мілкового обробітку ґрунту є підрізання кореневої системи на рівні 4–5 см без її видалення з ґрунту. При цьому поверхня покривається перегнійним шаром органіки різного походження, завдяки якому рослини і біота отримують поживні речовини, зменшується ризик утворення кірки. Мілкий обробіток забезпечує значний протиерозійний ефект. Він дає можливість максимально використовувати ґрунтозахисні властивості багаторічних трав, які створюють вертикальну орієнтацію пор аерації, що покращує структуру ґрунту і запобігає водній ерозії під час випадання інтенсивних дощів. Коли стік майже відсутній, вода по ходах кореневої системи рослин проникає на глибину 45–55 см і вже там розходить по капілярах. При системному поверхневому обробітку ґрунту і вирощуванні багаторічних трав зменшуються щільність та покращуються водно-фізичні властивості ґрунту, зникає ґрунтова підшва, яка неминуча при традиційній оранці і перешкоджає руху вологи в ґрунті. Сучасна система ґрунтообробних машин і агрегатів, що забезпечують якісний поверхневий обробіток ґрунту, включає культиватори вітчизняного виробництва КПС-4-3Р, дискові борони

фірми Gregoire Besson – DXRV, DXRV-HD, луцильники Vänderstadt Carrier – CR 820, культиватори Horsch–Агросоюз, та ін. [27].

Основні функції мілкої обробки ґрунту:

зберігає вологу ґрунту – як головного лімітуючого фактору землеробства Лісостепу;

створює оптимальну щільність ґрунту за рахунок його біологічного рихлення кореневою системою багаторічних трав та біотою;

зберігає бульбочкові бактерії, у яких накопичується асиміляційний азот, що сприяє формуванню поживного режиму культурних рослин;



**Рисунок 2.** Бульбочки азотфіксуючих бактерій

зменшує забур'яненість поля, особливо однорічними бур'янами, які проростають із верхнього (0-5см) шару ґрунту;

підвищує ерозійну стійкість та сприяє збереженню ґрунту; створює оптимальні умови для життєдіяльності фауни і флори ґрунту;

скорочує матеріальні витрати [27].

З впровадженням системи органічного землеробства та відмови від мінеральних добрив нагальним стає пошук ефективних та надійних джерел компенсації елементів живлення і створення у ґрунті позитивного балансу гумусу. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми – повернення нетоварної

частки врожаю – поживних решток, їх заробка в ґрунт та подальші процеси їх мінералізації. Тим самим втілюється в життя один із основних законів землеробства «Закон повернення» (про необхідність повернення в ґрунт поживних речовин які було винесено з урожаєм). Крім того, такий субстрат є хорошим середовищем для розвитку дощових черв'яків, які тут розмножуються і потім з перегноем вносяться на поля. Облік їх чисельності на полях, де вносили перегній, це підтверджує. Так, заселеність орного шару ґрунту дощовими черв'яками на окремих полях господарства сягає 80–85 особин на 1 м.кв., а в середньому, з 10 обстежених полів, їх чисельність склала 46 особин на 1 м<sup>2</sup>.

При цьому неможливо переоцінити в підвищенні родючості ґрунту роль дощового черв'яка. Саме його потрібно вважати великим творцем ґрунтового багатства, який створює легкозасвоювані поживні сполуки із органіки. Прокладаючи багатокілометрові ходи в ґрунті, черв'яки розпушують його, збагачують своїми виділеннями – копролітами ( до 100 і більше т/га), покращують структуру ґрунту. У екологічно цілісному ґрунті його ходи лишаються не зруйнованими протягом трьох років; прориті ним ходи та мікроканали забезпечують циркуляцію у зоні кореневої системи вологи і повітря, створюючи оптимальні умови для життєдіяльності культурних рослин. Тому для кращого змішування гною з ґрунтом він вноситься на зрихлену землю [27].

У зв'язку з ростом уваги населення до екологічних проблем в останні роки інтерес до отримання компосту з метою збільшення врожаю та підвищення його якості зростає, з'являються технології його прискореного виробництва. Так, розроблена і постійно удосконалюється технологія прискореної природної деградації органічних речовин у контрольованих умовах. В результаті компостування за 60–65 днів отримується цінне добриво, в якому вміст органічних речовин – не менше 75%, та не менше 50% поживних речовин в легкодоступній для рослин формі. Також в ньому відсутня патогенна мікрофлора в небезпечних концентраціях, життєздатне насіння бур'янів, добриво має слаболужну або нейтральну реакцію. У результаті високотемпературної біоферментації компостної маси в аеробних умовах збільшується поживна

цінність готової продукції, забезпечується її екологічність. Параметри готового продукту: температура – 30–35°C, вологість – 32–38%, вміст вуглекислого газу – до 8%, вміст кисню – до 12%, діючої речовини в 1 т компосту – не менше 50–70 кг, в тому числі азоту – 15–20 кг, фосфору – 10–15 кг, калію – 15–20 кг. В залежності від субстрату вміст NPK у компості може бути в межах 1,35; 0,57; 0,97, він має темний колір. Заслуговує на увагу зміна запаху компостного матеріалу – від смердючого до «запаху землі», обумовленого продуктами життєдіяльності актиноміцетів. При внесенні компосту, водночас із покращенням поживного режиму, ґрунт збагачується органічними речовинами, поліпшуються його фізичні та хімічні властивості. У польових дослідах встановлено, що під впливом компосту до 35% збільшується урожай пшениці озимої, у зерні зростає вміст білка та клейковини [27]. Зеленим органічним добривом – сидератами. Спеціальні посіви рослин, надземна маса яких частково або повністю заробляється у ґрунт, називають сидерацією, а саму культуру – сидератом.



**Рисунок 3.** Еспарцет виколистий

Сидеральні культури, а їх – понад 60 видів збагачують ґрунт поживними речовинами, покращують структуру його верхнього шару, водний, повітряний, тепловий, фітосанітарний режими та сприяють захисту ґрунту від ерозії. Зелене добриво є невичерпним, постійно поновлюваним джерелом органічної речовини.

Відомо, що за своє життя на формування біомаси рослина бере з ґрунту лише 10% «матеріалу», а 90% одержує повітря, енергії сонячних променів. За своєю ефективністю сидерати прирівнюються до напівперепрілого гною з коефіцієнтом 1,5. Сидерати сприяють природному відтворенню родючості ґрунту. На полях, зайнятих ними, не пересушується верхній шар, не гине біота, а лише сприяє фотосинтезу, збільшуючи накопичення поживних речовин. Вибираючи ту чи іншу сидеральну культуру, потрібно враховувати кліматичні, ґрунтові й організаційно-економічні умови господарства. У якості сидеральних культур використовують багаторічні бобові трави (еспарцет виколистий, люцерну посівну), однорічні бобові (вика яра), котрі більш корисні для збагачення ґрунту поживними речовинами, а також гречку, редьку олійну, гірчицю, а також сумішки вика яра та овес посівний, редька олійна та овес посівний, фацелію, амарант, рапс, райграс [27].



**Рисунок 4.** Вика яра

Бобові культури збагачують ґрунт азотом, який фіксують із повітря бульбочкові бактерії, розміщені на їхніх коренях. Накопиченого азоту вистачає як самій сидеральній культурі, так і наступній після неї культурі у сівозміні. Позитивний вплив сидерації на родючість ґрунту і урожайність сільськогосподарських культур зберігається протягом трьох років. Заробку зеленої маси еспарцету проводять не глибоко дисковою бороною, у два сліди,



щоб не витягнути корені. Дискування проводять на половину захвата борони, друга частина її повторно обробляє уже звалені рослини. Кореневі шийки залишаються неушкодженими і за 10–12 діб поле знову зеленіє, після трьох тижнів рослини досягають фази стеблуння – початку бутонізації. Основний обробіток проводять плоскорізним культиватором, обладнаним лапами, налаштованими на глибину 5–6 см, щоб агрегат підрізав, а не витягував кореневища рослин, після відмирання яких утворюється вертикальний дренаж ґрунту, що сприяє покращенню його водного і повітряного режиму. Остаточо припиняє відростання еспарцету передпосівна культивація. Головна умова її виконання – не раніше доби до сівби, оскільки за ранньої культивації на полі залишаються зимуючі бур'яни, а за більш пізньої – вони знищуються. Як правило, на цьому полі висівається пшениця озима. Однією з цінних культур для сидерального добрива є люцерна посівна, або синя, що визначається її високою продуктивністю. Під впливом люцерни поліпшуються фізичні властивості ґрунту, особливо його структура. Люцерна захищає ґрунт від вітрової і водної ерозії, сприяє розсоленню його верхніх шарів, збагаченню його азотом і органічною речовиною (після її відмирання і розкладання, у ґрунті залишається до 200 кг/га азоту). Вона швидко відростає (3–4 рази протягом вегетаційного періоду) і може давати урожайність зеленої маси тільки за один укіс 200–250 ц/га [27].

Як сидеральне зелене добриво гірчиця біла характеризується швидким ростом вегетативної маси. Всього протягом 30–40 діб настає укісна стиглість. Ось чому, завдяки швидкорослості, її використовують як сидерат, висіваючи навіть у пізні строки (кінець липня–початок серпня), після збирання зернових культур. Урожайність зеленої маси досягає 200–300 ц/га. Кращим строком сівби гірчиці білої є ранній, одночасно з ранніми зерновими культурами.

Але потрібно відмітити ще одну цікаву властивість її, як природного гербіциду – зменшує забур'яненість наступних культур у сівозміні. В зв'язку з цим краще гірчицю білу сіяти після збирання зернових культур і використовувати у вигляді зеленого добрива. Сіють звичайним рядковим

способом з нормою висіву 15–16 кг/ га. На дуже забур'яненних полях її краще висівати широкорядним способом (міжряддя 45 см), зменшуючи при цьому норму висіву до 10–12 кг/га. Насіння загортають на глибину 3–4 см. Дискують на сидеральне добриво у фазі цвітіння–початку утворення плодів (стручків).

У сучасному рослинництві редька олійна є відносно новою сидеральною культурою. Особливо велике значення вона має за вирощування на бідних і важких ґрунтах: поліпшуються фізичні властивості ґрунту, зменшується небезпека ураження хворобами, збільшується врожайність наступних культур. Це вологолюбна рослина з коротким вегетаційним періодом (45–50 днів від сівби до цвітіння). Вона формує 300 ц/га і більше високобілкової зеленої маси. За врожайності зеленої маси редьки олійної понад 400 ц/га у ґрунті залишається N75-120P20-30K50-70. Висівають редьку олійну звичайним рядковим способом з міжряддям 15 см. Норма висіву 2,5–3 млн. схожого насіння на 1 га (15–20 кг/га). Насіння загортають не глибше 2–3 см. Редьку олійну вирощують у чистому безпокровному посіві, а також її можна підсівати до кукурудзи на зелений корм у фазі 3–4 листків. Дискують на сидерат у фазі бутонізації – початку цвітіння [27].

Завдяки швидкорості, особливо на ранніх фазах, вирощується на зелене добриво фацелія. Це однорічна одноукісна шорстколиста культура; вона не уражається шкідниками і хворобами, добре пригнічує бур'яни, не вимоглива до ґрунтів і умов вирощування. Її краще вирощувати у суміші з бобовими рослинами, які швидко ростуть, хоча часто вирощується і в чистому вигляді. За врожайності зеленої маси фацелії біля 300 ц/га у ґрунті акумулюється N80P50K200. Сіють звичайним рядковим способом на глибину 1–2 см з нормою висіву насіння 10–15 кг/га. Сіяти можна як весною, так і літом (червень–липень). Через 7–8 тижнів після сівби у фазі бутонізації – початок цвітіння дискують на зелене добриво [27].

Паралельно з гноєм і компостом, як органічні добрива, можна широко використовувати побічну продукцію сільськогосподарських культур, і, насамперед, солому злакових культур. Солома є дешевим джерелом органічної

речовини для ґрунту. За вмістом органічної речовини та макроелементів (N, P, K) 1 т соломи рівноцінна 3 т напівперепрілого гною. У 4 т соломи міститься близько 20 кг N, 10кг – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 35–40кг – K<sub>2</sub>O, 8–10кг – Ca, 3–5кг – Mg, 4–5 кг S. Крім того, у цій масі містяться мікроелементи: 20 г –B , 12г– Cu, 120г– Mn, 5г– Mo, 160г – Zn і 2 г Co. Мікроелементів у соломі більше, ніж у зерні [27].

Необхідно пам'ятати, що 5 т сухої маси соломи містять у загальному близько 4,8 т органіки. В перерахунку на гній, із вмістом сухої речовини 25 %, це дорівнює внесенню 15,5 т гною. Тому недопустимим є спалювання побічної продукції, адже це неминуче призведе до погіршення водно-фізичних властивостей ґрунту, зменшення його біологічної активності, зменшення чисельності основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів, загибелі корисної ентомофауни. Підраховано, що під час згорання 40–50 ц соломи і стерні, з кожного гектара втрачається безповоротно 20–25 кг азоту і 1500–1700 кг вуглецю. Залишена стерня пшениці (не спалена) зберігає 76 % опадів. А це 4–6 ц/га додаткової урожайності зерна наступної культури. За рахунок виключення процесу збирання соломи під час комбайнування, затрати праці зменшуються на 40–60 %. Безпосереднє використання соломи на удобрення майже у 8 разів зменшує затрати праці на приготування і внесення соломистого гною. В останні роки у різних країнах світу та в Україні широко впроваджують технології пришвидшеної деструкції соломи та рослинних решток за допомогою біодеструкторів [27].

### **Рекомендації застосування елементів органічного землеробства**

Оскільки, більша частина сільськогосподарських господарств знаходяться на півдорозі до переходу на органічне землеробство і шлях цей є нелегким, тернистим, а в окремі роки і збитковим. Саме для цих аграріїв ми рекомендуємо впровадження та застосування наступних елементів органічного землеробства:

Застосування органічних добрив, внесення яких сприяє активізації діяльності ґрунтової мікрофлори, а після їхньої мінералізації проходить насичення ґрунту поживними речовинами, які використовують рослини. Так, при вмісті поживних речовин у гноєві великої рогатої худоби: азоту (N)

– 0,40%, фосфору( $P_2O_5$ ) – 0,16%, калію ( $K_2O$ ) – 0,50%, за внесення 100 т/га  
у ґрунт після мінералізації органічних речовин надходить  
– азоту 400кг/га, фосфору – 160 кг/га, калію – 500 кг/га.

Внесення органічних добрив

Вирощування бобових культур

Завдяки азотфіксації рослини забезпечуються безперервним азотним живленням в оптимальних дозах, а в процесі фотосинтезу утворюються вуглеводи, які потім використовуються для синтезу всіх органічних речовин. Потужний резервуар азоту – земна атмосфера, де його запаси становлять близько 4 трлн. т (об'ємна частка газоподібного азоту в атмосфері – 78, 09%, масова – 75,6%). Над кожним гектаром Землі у повітрі міститься в середньому близько 80 тис. тонн (над  $1m^2$  близько 8т) молекулярного азоту, який є єдиним джерелом поновлення запасів зв'язаного азоту в ґрунті. Таким чином, азот не лише основний біогенний елемент, головний компонент живої матерії, що відіграє найважливішу роль в житті рослин і тварин, але і провідний елемент землеробства. Проте вищі рослини не здатні використовувати молекулярний азот як джерело азотного живлення. З повітря фіксувати азот можуть лише бактерії, що мають високий коефіцієнт розмноження та адаптації до середовища, а ферментативні системи здатні відновлювати азот до різноманітних хімічних сполуки. Найбільше практичне значення у збагаченні ґрунтів азотом, завдяки засвоєнню його з повітря, мають бульбочкові бактерії, які фіксують молекулярний азот у симбіозі з бобовими рослинами, що є одним з основних елементів системи органічного землеробства. Так, завдяки бульбочковим бактеріям люцерна здатна засвоювати 120– 350 кг/га азоту з повітря, еспарцет – 100–200 кг/га, соя – понад 70 кг/га і сформувати врожайність зерна 30–35 ц/га без застосування азотних добрив.

Вирощування сидератів. Зелене добриво є невичерпним, постійно поновлювальним джерелом органічної речовини. Встановлено, що за вегетаційний період на формування біомаси сидеральна культура бере з ґрунту лише 10% «матеріалу», а 90% одержує з повітря за рахунок енергії сонячних

променів та біологічної азотфіксації. За даними наукових досліджень сидерати за своєю ефективністю прирівнюються до напівперепрілого гною з коефіцієнтом 1,5. Середня врожайність зеленої маси сидерату (200–300 ц/га) еквівалентна внесенню 20–30 т/га гною. Позитивний вплив сидерації на родючість ґрунту й урожайність сільськогосподарських культур зберігається протягом трьох років.

Система мінімального обробітку ґрунту. Технологію мінімального обробітку доцільно застосовувати в посушливих умовах. Мінімальний обробіток ґрунту робить важливий внесок для покращення структури ґрунту. Відмова від глибокого та інтенсивного розпушення зберігає структуру ґрунту та його мікроорганізми, а також запобігає розпаду гумусу. Крім того, покращується пружність та захист від ерозії ґрунту та його водний баланс. У Швейцарії в рамках державної програми ефективного використання енергоресурсів фінансово підтримуються посів по мульчі, стрічковий та прямий посіви. Крім того, органічні виробники отримують додаткову підтримку за умови застосування мінімального обробітку ґрунту та відмови від гербіцидів.

З огляду на вище викладене ми вважаємо, що відновлення наших найродючіших та найцінніших чорноземів у агроєкосистемах це не міф, а реалії, які необхідно втілювати в життя вже сьогодні. Оскільки саме наступні покоління потребують екологічної, якісної, відновленої екосистеми.

### 1.3 Популяційна структура *Fallopia convolvulus* у посівах зернових культур

Вивчення популяцій бур'янів у посівах зернових культур досить актуально за умов розвитку інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарської продукції. Сучасний аграрний бізнес побудований на безконтрольному використанні хімічних методів захисту культур від бур'янів та шкідників, що незмінно призводить агроценози до незадовільного екологічного стану: колись родючі ґрунти отруюються залишками пестицидів, біорізноманіття ґрунтової мікробної флори та фауни різко знижується. За оцінками деяких дослідників, за кілька десятиків років інтенсивні методи землекористування призведуть до втрати природної родючості ґрунту [35, 41]. Щоб уникнути цих прогнозів, у сільськогосподарському виробництві необхідно використовувати екологічно безпечні методи регулювання чисельності бур'янів та шкідників, наприклад, організаційні і фітоценотичні. Ці методи дозволяють боротися з бур'янами, ґрунтуючись на знаннях про едифікаторну роль тієї чи іншої культури для певних видів бур'янів.

Традиційно в агрономічній науці та практиці бур'яни розглядалися як фактор зниження врожайності сільськогосподарських культур, збільшення витрат на їх виробництво, ускладнення обробітку ґрунту. Деякі дослідники вважають бур'яни причиною поширення хвороб та шкідників культурних рослин. За різними оцінками встановлено, що зниження валових зборів сільськогосподарських культур внаслідок забур'яненості може сягати 25–30 %, а в окремих випадках навіть перевищувати 50 % [37, 40].

Проте дослідження останніх років змусили переглянути загальну концепцію про статус сегетальної рослинності в посівах. Більшість екологів вважають, що бур'яни не є виключно шкідливими рослинами. Вони є повноправними та закономірними компонентами агроєкосистем, а шкідливий вплив дикорослих сегетальних видів проявляється лише за умов їх масового розмноження [29]. При невеликій чисельності на полях бур'яни навіть виявляють низку корисних

властивостей та якостей. Зокрема, сегетальні дикорослі види знижують водну та вітрову ерозію ґрунту, їх рештки сприяють гумусоутворенню та балансу мінеральних речовин в ґрунті; окрім того, бур'яни сприяють переміщенню мінеральних речовин з глибоких шарів ґрунту в орний шар; пом'якшують вплив монокультури на агрофітоценоз; забезпечують корисну ентомофауну - хижаків, паразитофагів та інших представників корисних комах середовищем їх проживання з можливостями перезимівлі та годування в період свого циклу розвитку, отже сприяють підтримці біорізноманіття; деякі бур'яни є біоіндикаторами фізико-хімічних властивостей ґрунту [39].

У визнанні за бур'янами права на існування є і загальнобіологічний аспект, адже кожен вид – це генотип з унікальними та часто ще не вивченими властивостями, який може бути матеріалом для селекції [36, 42]. Прикладом вдалого поєднання стійкого до хвороб і шкідників геному багаторічного бур'яну та цінної злакової культури є міжродові пшенично-пирійні, житньо-пирійні, пшенично-елімусні гібриди, створені ще у 20 столітті селекціонером М.В. Цициним і незаслужено забуті сьогодні. Хоча свого часу гібриди *Triticum agropyrotriticum* в промисловому масштабі вирощували як цінні кормові злаки.

Тотальне знищення будь-якого виду бур'яну веде до втрати його унікального генотипу, що призводить в свою чергу, до загального зниження біологічного розмаїття рослин планети. У Німеччині через докорінне знищення бур'янів в агроекосистемах, парках, скверах, на рудеральних ділянках, - деякі види сегетальних рослин занесені до Європейського Червоного списку тварин і рослин, що знаходяться під загрозою зникнення у світовому масштабі.

У сучасній науці відбувається зміна розуміння ролі бур'янів в агроекосистемах. Концепція повного викорінення бур'янів змінюється концепцією регулювання їх чисельності до економічно безпечного рівня. Замість повного знищення бур'янів економічно доцільніше не допускати їх масового розростання. Крім того, відмова від інтенсивних методів боротьби з сегетальною рослинністю дозволяє вирішити низку екологічних проблем, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища залишками пестицидів, втратою

родючості ґрунтів, порушенням у них природних процесів азотфіксації, аммоніфікації та нітрифікації [30].

Впровадження концепції регулювання чисельності бур'янів потребує ретельного вивчення процесу їх розмноження, зростання та розвитку. Для з'ясування зазначених питань є доцільним використання популяційного аналізу. Це, зокрема, вже доведено результатами досліджень таких відомих біологів, як Дж. Харпер та Г. Еванс [39].

Мета роботи – здійснити оцінку стану популяцій поширеного сегетального монокарпика – гірчака берізкоподібного - *Fallopia convolvulus* (L.) Love у різних агрофітоценозах та на прикладі цього виду оцінити доцільність використання популяційного аналізу як методологічної основи щодо запобігання забур'янення сільськогосподарських культур цим видом.

В дослідженні представлено результати аналізу основних параметрів популяцій однорічного бур'яну *F. convolvulus* у посівах зернових і зернобобових культур в органічній системі землеробства, яка вже декілька років запроваджена в дослідному господарстві ННБК Сумського НАУ. Господарство знаходиться у межах Сумського району Сумської області в межах Лісостепової природної зони. Клімат району дослідження помірно-континентальний. Середньорічна температура становить +6 °С. Середня багаторічна кількість опадів становить 510 мм [28]. Ґрунти на дослідних полях представлені чорноземами типовими малогумусними вилугуваними середньо суглинковими, з глибиною гумусового горизонту 50-60 см. в орному шарі вміст гумусу в межах 3,9-4,2%, рН ґрунтового розчину 6,8-7,0, сума ввібраних основ – 29-30 мг-екв., вміст рухомих форм фосфору 8,5-11,2, калію 6,8-9,1.

Досліджувалися безгербіцидні агрофітоценози зернових, зернобобових та круп'яних культур – озимого жита, озимої пшениці, ячменю, гороху, гречки. Вибір культур визначався тим, що частку зернових, зернобобових і круп'яних у районі дослідження припадає до 70-80% посівів, а самі культури грають найважливішу роль економіці регіону. У досвіді ці культури вирощувалися за класичною технологією, але без застосування гербіцидів.



Оцінка стану популяцій *F. convolvulus* проводилася за допомогою загальноприйнятих методик [38, 39]. Аналіз популяцій проведено виходячи з методів фітоценології, викладених у роботах Ю. А. Злобіна, Я.П. Дідуха [31, 32].

Для виявлення особливостей розвитку популяцій сеgetальних рослин з кожного дослідного поля брали вибірки бур'янів, визначали показники продукційного процесу, росту та формоутворення. За допомогою статистичних методів аналізували ряди даних по кожному полю.

Динаміку ростових морфометричних параметрів *F. convolvulus* протягом вегетаційного періоду в посівах різних культур порівнювали за чотирма термінами вимірювання – кінець травня, середина червня, початок та кінець липня.

Результати оцінки величин основних морфопараметрів *F. convolvulus* в досліджуваних агрофітоценозах представлені в таблицях 1, 2 і на рис. 1. Встановлено, що в середині червня в посівах озимої пшениці фітомаса надземної частини рослин *F. convolvulus* була вдвічі, а в посівах гороху – майже вп'ятеро вище, ніж у посівах жита та ячменю. При цьому в агрофітоценозі гречки рослини бур'яну розвивалися вкрай слабо і були дуже малі за розміром. В останній термін вимірювання, безпосередньо перед збиранням урожаю, середній показник надземної маси *F. convolvulus* на полях гречки склав лише 0,7 г. У посівах жита він був у 6,5 г разів більше - 4,6 г. У посівах ячменю - у 4 рази більший – 2,7 г. Суттєво виділялися агроценози гороху та озимої пшениці – у них надземна фітомаса *F. convolvulus* склала відповідно 23,1 та 23,5 г, що у 30 разів більше, ніж в агроценозі гречки.

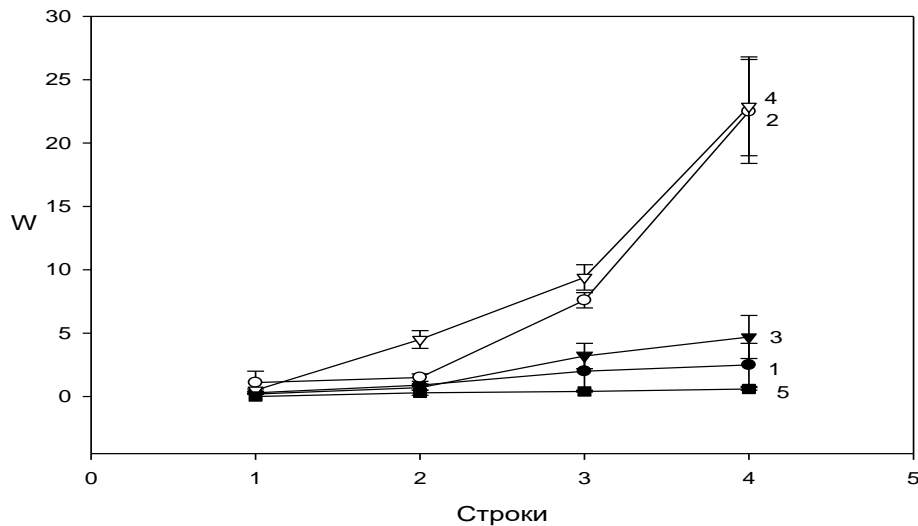


Рис. 1. Динаміка надземної фітомаси (W, г) *Fallopia convolvulus* в зернових агрофітоценозах. Культури: 1 – ячмінь ярий, 2 – озима пшениця, 3 – озиме жито, 4 – горох, 5 – гречка

Ріст *F. convolvulus* у висоту в різних агроценозах також було неоднаковим. На момент останнього виміру досить високими виявилися рослини в посівах гороху (75,4 см), озимій пшениці (80,6 см), та жита (55,2 см). Найнижчим – у посівах ячменю (32,6 см) та гречки (24,1 см).

Таблиця 1

Висота *F. convolvulus* в різних агрофітоценозах (см)

Культура	Кінець травня	Середина червня	Початок липня	Кінець липня
Пшениця озима	8,9 ± 0,9	15,7 ± 2,3	37,8 ± 2,5	80,6 ± 12,2
Жито озиме	6,8 ± 1,1	25,7 ± 1,2	45,9 ± 3,1	55,2 ± 6,8
Ячмінь ярий	5,0 ± 0,4	12,2 ± 1,1	23,9 ± 9,1	32,6 ± 5,8
Горох	7,1 ± 0,8	17,5 ± 0,6	54,6 ± 3,9	75,4 ± 4,9
Гречка	-	7,6 ± 1,2	18,1 ± 2,2	24,1 ± 1,9

Абсолютна швидкість росту (AGR) *F. convolvulus* у висоту в посівах ячменю склала 0,04 г/день, пшениці – 0,4 г/день, жита – 0,08 г/день, гороху – 0,4 г/день, гречки – 0,01 г/день.

Найкращими умовами для формування фотосинтезуючих органів рослин *F. convolvulus* виявилися посіви озимої пшениці і гороху, в яких середні значення площі листової поверхні досягали 685,8 і 765,1 см<sup>2</sup> відповідно. Найгіршими – посіви гречки, у яких значення показника були у десятки разів меншими.

Таблиця 2

Площа листової поверхні *F. convolvulus* в різних агрофітоценозах (см<sup>2</sup>)

Культура	Кінець травня	Середина червня	Початок липня	Кінець липня
Пшениця озима	39,5 ± 3,4	65,4 ± 5,5	211,8 ± 7,5	685,8 ± 32,6
Жито озиме	8,7 ± 0,6	36,7 ± 1,9	154,0 ± 13,1	229,2 ± 26,8
Ячмінь ярий	15,0 ± 1,4	36,2 ± 7,1	103,9 ± 9,1	131,1 ± 12,4
Горох	34,1 ± 2,8	198,5 ± 16,5	350,2 ± 19,7	765,1 ± 39,3
Гречка	-	12,6 ± 1,2	14,2 ± 2,8	16,1 ± 1,5

Отже, виявилось, що величини основних морфопараметрів та їх динаміка у рослин *F. convolvulus* статистично достовірно ( $p < 0,05$ ) змінюються за градієнтом зернових сільськогосподарських культур, які є едифікаторами агроценозів і тому чинять фітоценотичний тиск на досліджуваний вид.

До найважливіших біологічних процесів належить репродукція. Однорічні бур'яни розмножуються виключно генеративним способом. У *F. convolvulus* одиниці генеративного розмноження - плодики. Насіннева продуктивність цього виду за літературними даними [37] складає 140-11900 шт./роsl. В умовах досліджуваних агрофітоценозів цей показник варіював у межах 527-542 шт./роsl.

Дослідження показали, що насіння *F. convolvulus* починає проростати вже при температурі ґрунту 3-7 °C і проростання триває всю весну і першу половину літа. Розвиток репродуктивних структур у цього виду різниться у різних ценотичних умовах. Оптимальні умови для розвитку насіння бур'яну були сформовані посівами озимої пшениці та гороху. У гороху маса плодиків з однієї рослини бур'яну в середньому становила 3,9 г, в озимій пшениці – 2,1 г. У посівах

інших культур цей показник був у десятки разів меншим. Так, у ярого ячменю цей показник становив 0,4 г, в озимому житі – 0,3 г, у гречці 0,04 г.

Важливою характеристикою генеративного розмноження сегетальних рослин є репродуктивне зусилля, тобто частка фітомаси, виражена у відсотках, яку рослина витрачає безпосередньо на формування органів генеративного розмноження. У посівах гороху цей показник становив 16%, ячменю – 10%, озимої пшениці – 8%, в озимому житі та гречці – лише 4%.

Для того, щоб повніше уявити вплив тих чи інших ценотичних умов на розвиток популяцій *F. convolvulus* був проведений їх віталітний аналіз. Віталітет, або життєвість популяцій – властивість, яка вказує на тривале існування організмів та їх нащадків в популяції. Точне визначення цього параметра можливе лише в процесі багаторічних спостережень, що не завжди доступно. Отже, коли необхідно провести експрес діагностику життєвості популяції, користуються віталітетним аналізом, теоретичні основи якого були сформульовані Ю.А. Злобіним [32, 43].

Віталітетний підхід базується на рівнозначності ознак, які характеризують життєвість особин у всіх популяціях, які досліджували. Методи визначення життєвості особин і популяцій різноманітні, але всі вони базуються на розподілі особин всієї сукупності на декілька класів віталітету за декількома ознаками та обчисленню середнього балу для кожної окремої популяції. Віталітетний аналіз оцінює життєздатність на основі морфо метричних ознак із подальшим встановленням співвідношення в популяції кількості особин різної життєздатності. Ростові показники, морфологічна структура, продукційний процес дають узагальнену оцінку життєвості популяції. Віталітетний аналіз дозволяє ефективно порівняти стани різних популяцій в різноманітних екологічних умовах та оцінити життєздатність особин рослин на основі морфометричних показників з подальшим встановленням якості популяції за відсотковим співвідношенням рослин високого класу «а», проміжного класу «b» та низького класу «с». В залежності від співвідношення в окремій популяції досліджуваного виду рослин різного віталітетного стану, популяції оцінюють як

рівноважні, процвітаючі чи депресивні. Інтегральною оцінкою якості популяції є індекс віталітету  $Q$ . Його визначають як  $\frac{1}{2}$  суми всіх представників вищого і середнього класів  $(a+b)$ . Величина індексу якості популяції знаходиться в амплітуді від 0 до 0,5.

Для аналізу вітальної структури популяцій *F. convolvulus* у кожному з досліджуваних агрофітоценозів були використані великі вибірки рослин у генеративному стані. Показники, що характеризують віталіт популяцій досліджуваного виду: загальна фітомаса рослини, площа листової поверхні, маса генеративних органів. Результати віталітетного аналізу представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Віталітетна структура популяцій *F. convolvulus* у різних агрофітоценозах

Культура	Частка класів віталітету			Індекс якості Популяції $Q$	Тип популяції	Рівень статистичної достовірності %
	a	b	c			
Пшениця озима	0,95	0,0	0,05	0,48	Процвітаюча	90
Жито озиме	0,13	0,0	0,87	0,07	Депресивна	82
Ячмінь ярий	0,0	0,0	1,0	0,00	Депресивна	96
Горох	0,0	0,0	1,0	0,00	Процвітаюча	96
Гречка	1,0	0,0	0,0	0,50	Депресивна	97

Віталітетний аналіз показав, що в посівах озимої пшениці та гороху розвиваються процвітаючі популяції *F. convolvulus*, а в посівах гречки, жита та ячменю – депресивні. Індекс якості популяцій бур'яну в озимій пшениці становив 0,47, у гороху – 0,50, у житі – 0,07, у гречку та ячмені ярому – 0,00. Оскільки у різних агроценозах дані морфологічних параметрів значно відрізнялися у статистичному ряді, рівноважних популяцій *F. convolvulus* в агрофітоценозах, що обстежуються, не виявлено.

Аналіз періодизації онтогенезу монокарпічного однорічника *F. convolvulus* проводився за методикою Макрушіна Н.М. та ін [33]. При цьому рослини, що

перебувають у стані бутонізації, розглядалися як молоді генеративні рослини (g1), у стані цвітіння – середньовікові генеративні (g2), у стані плодоношення – старі генеративні (g3). Такий підхід дав можливість точніше оцінювати онтогенетичний склад популяцій бур'янів. Відомо, що онтогенетичні спектри рослин несуть важливу інформацію про їх популяції.

Оцінку онтогенетичного складу популяцій *F. convolvulus* проводили безпосередньо перед збиранням урожаю культури. За шкалою Бейдеман це відповідало фазам: у зернових 3.4 – 4.4, у гороху 4.2 – 4.4, у гречки 3.2 – 4.3, а за шкалою ВВСН відповідно до етапів 66 – 77. Такий підхід дозволив отримати валідний порівняльний матеріал для досліджень. Для кожної популяції бур'янів у кожному типі агрофітоценозів обчислювалися індекси оновлення та генеративності [34].

Отриманий узагальнений матеріал для онтогенетичних спектрів наведено в табл. 4. В агрофітоценозах жита, пшениці, ячменю та гороху онтогенетичні спектри *F. convolvulus* мають чітко виражений правосторонній характер з переважанням у популяціях особин g2 та g3 та піком чисельності на старих генеративних рослинах.

Таблиця 4

Онтогенетичні спектри популяцій *F. convolvulus* у різних агрофітоценозах

Культура	Онтогенетичні стани,%							Індекс відновлення %	Індекс генеративності %
	p	j	im	v	g1	g2	g3		
Пшениця озима	2,8	2,9	5,6	5,7	8,3	25,0	50,0	16,7	83,3
Жито озиме	7,1	3,6	7,2	7,1	10,7	24,9	39,3	25,0	75,0
Ячмінь ярий	2,8	2,8	2,9	5,5	11,1	36,1	38,9	13,9	86,1
Горох	5,4	2,7	2,8	8,1	16,2	24,3	40,5	18,9	81,1
Гречка	45,4	24,2	12,1	9,1	3,0	3,0	2,9	90,9	9,1

Встановлено, що онтогенетичні спектри *F. convolvulus* є повночленними та дефінітивними. Індекс генеративності у всіх агрофітоценозах, крім гречаного,

становить 75 – 86%, а індекс оновлення – в амплітуді 13 – 25%. Випадають із цієї загальної закономірності тільки посіви гречки, в яких одноклеточні спектри мають суцільний характер з піком чисельності на проростках та ювенільних рослинах. Частка генеративних рослин *F. convolvulus* у цих посівах становить 10%, індекс оновлення 90,9%.

Таким чином, вид сільськогосподарської культури, що вирощується на конкретному полі, є одним із факторів, що визначають характер онтогенетичної структури популяції бур'янів.

В процесі дослідження доведено, що стан популяцій *F. convolvulus* в агрофітоценозах суттєво залежить від фітоценотичного впливу культури едифікатору. Серед досліджених агрофітоценозів сприятливими для розвитку бур'яну виявилися посіви гороху та озимої пшениці, помірно пригнічували розвиток цього виду посіви озимого жита та ячменю ярого, суттєво пригнічували розвиток *F. convolvulus* посіви гречки посівної як спорідненого у флористичному відношенні виду. Виявлені закономірності зростання та розвитку *F. convolvulus* у різних агрофітоценозах можуть бути використані у виробництві при складанні протибур'янкових сівозмін, ефективно регулюючих їх чисельність у посівах без застосування гербіцидів.

Залежно від агрофітоценотичних умов у *F. convolvulus* відбувається статистично достовірні зміни показників репродукції та комплексу популяційних характеристик. Це є об'єктивним свідченням доцільності використання комплексного популяційного аналізу у вивченні бур'янів, важливими складовими якого є визначення в агрофітоценозах кількості та щільності бур'янів, а також їх онтогенетичної та віталітної структури. Визначення останньої, у свою чергу, передбачає застосування ретельного морфометричного аналізу, спрямованого на оцінку ознак вегетативних та генеративних органів рослин.

Дослідження виявило, що на стан популяцій *F. convolvulus* в агрофітоценозах має значний фітоценотичний вплив едифікаторна культурна рослина. Сприятливими для розвитку бур'яну виявилися такі едифікатори як горох та

озима пшениця, помірковано пригнічували розвиток бур'яну жито озиме та ярий ячмінь, значно пригнічували популяцію гірчака берізкоподібного систематично близька гречка посівна.

Результати популяційного аналізу, загалом і зокрема виявлені закономірності зростання та розвитку *F. convolvulus* в різних агрофітоценозах можуть бути використані у виробництві при складанні бур'янів, що пригнічують розвиток бур'яну та ефективно регулюють його чисельність у посівах.



## SECTION 2. ARCHITECTURE, CONSTRUCTION

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.2.1

### 2.1 Calculation of the building's stability against progressive destruction on the example of a real project

The problem of progressive collapse has been known to design engineers for a long time and is associated with very sad events in history, the most shocking of which was the collapse of the World Trade Center towers in New York as a result of the terrorist attack on September 11, 2001 (Figure 1). However, issues related to the phenomenon of progressive collapse have only recently begun to be reflected in design codes around the world.

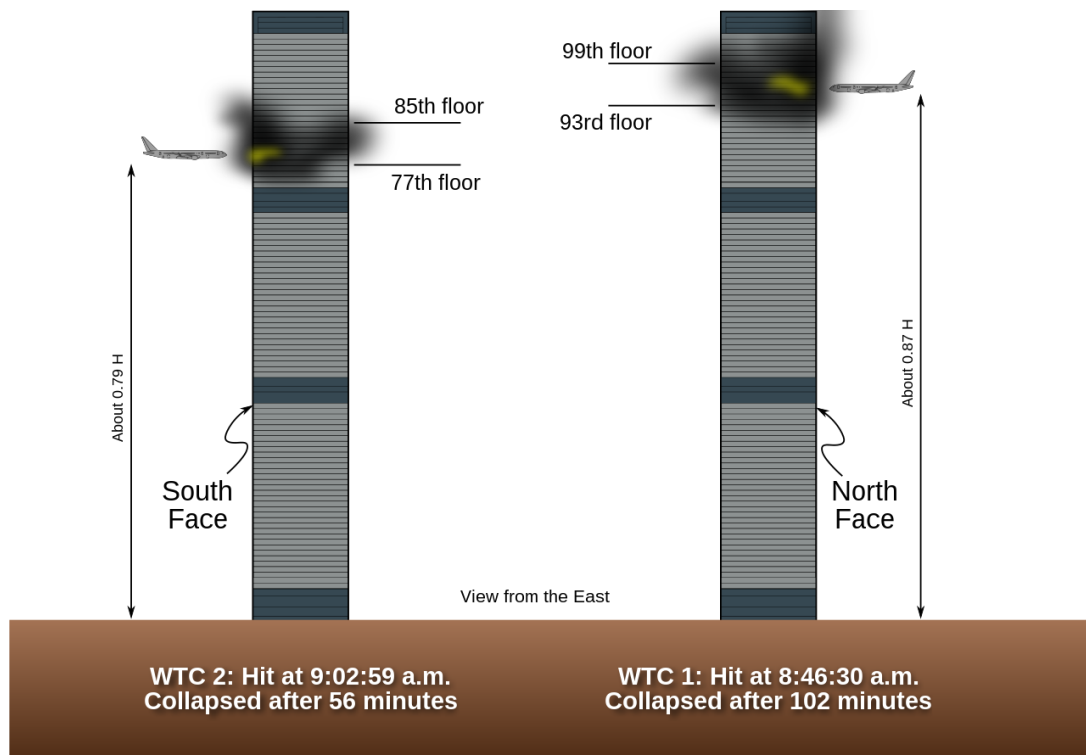


Figure 1. Aircraft impact points on the south and north towers of the World Trade Center (photo from Wikipedia)

The NIST investigation showed that when the planes hit the towers in different ways, the process of ruining the Pivnichnaya and Pivdennaya towers was disrupted, although the fire was similar. After the impact of the flyers, the internal joints of power were seriously damaged, although the external joints were noticeably weaker. This led to a significant overgrowth of the emphasis between them. The upper structure of the

towers played a great role in this reorganization, the weight of which now fell primarily on the peripheral stages, and not on the internal ones.

The NIST investigation revealed that, through the fact that the fliers were destroyed at the tower in a variety of ways, the process of rebuilding the Pivnichnaya and Pivdennaya towers also changed a little, although the similarity was clearly visible. After the attack of the pilots, the internal parts of the force were seriously damaged, although the external ones were much easier. This screamed seriously overrode the desire between them. The upper power structure of the towers played a significant role in this reorganization, which now fell most importantly on the peripheral stages, and not on the internal ones.

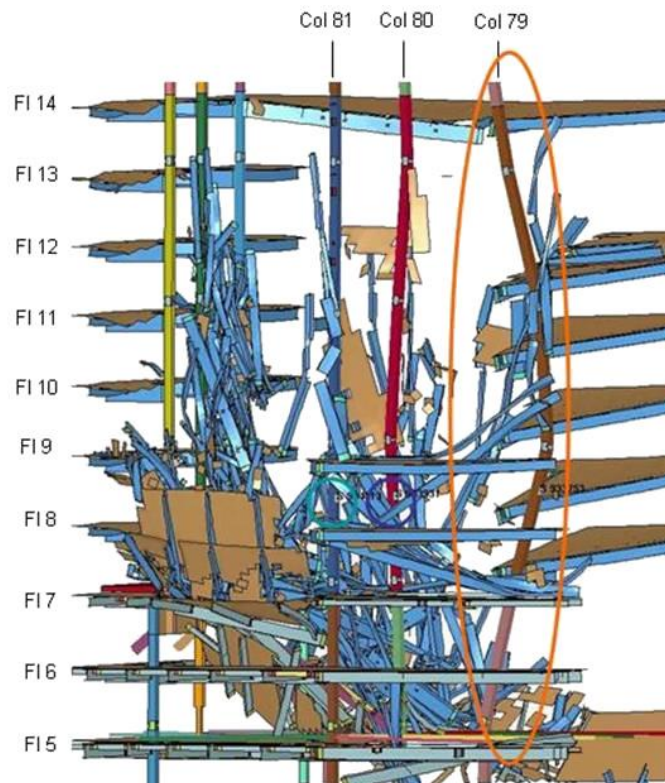


Figure 2. NIST diagram showing the bending of Column 79 (outlined in orange) that began the progressive collapse of the WTC7 building (photo from Wikipedia).

The planes that were lost in the fire destroyed significant parts of the steel structures, which led to their direct spilling into the fire. Extending 102 miles, before the fall of the Pivnichnaya Tower, the temperature, although significantly below the melting point of metal, reached a sufficient level to change the internal pillars, which began to deform and bend out. upper surfaces.

A similar situation occurred at the Pivdenny Tower (the internal structures were seriously damaged). The peripheral pillars and substructures of both towers were weakened by the fire, which led to the substructures settling on the damaged levels and the creation of significant pressure on the peripheral pillars, which made the center straight.

The reason that the Pivnichna Tower stood longer than Pivdenna was due to the combination of three factors: the area of impact of the flyer at the Pivnichna Tower was larger (and the area of the upper part was also smaller), the There is a fly that, having sunk from the tower, was the least, besides, the fly having struck near the river, kidnapped by a firefighter, who had often been thoroughly drilled before.

#### **The requirements of Ukrainian construction standards and regulations.**

In clause 4.2 DBN V.1.1-7:2016 Fire safety of construction objects. The general requirements are stated: "Buildings with a class of consequences (responsibility) CC3 (significant consequences) in accordance with DSTU-NB B.1.2-16, should be calculated for progressive collapse due to fire in accordance with DBN B.1.2-14, DBN B .2.2-24 and other regulatory documents.

#### **Calculation of the building's stability against progressive destruction on the example of a real project in Ukraine.**

The forces in the structural elements and their connections were obtained on the basis of the calculation in the case of local destruction and a comparison was made with their bearing capacity.

Protection of the structure from progressive collapse is ensured, for any elements and their connections the condition is fulfilled:

$$F \leq S,$$

Where F is the effort in the structural elements or in their connections, found from the performed calculation, S is the bearing capacity of the structural elements and their connections.

When calculating structures for resistance against progressive collapse, the calculated strength characteristics and deformation characteristics of materials were

assumed to be equal to their normative values, which are determined in accordance with current regulatory documents.

When calculating structures for resistance against progressive collapse, the load reliability coefficients were taken.

Calculation of structures for resistance against progressive collapse was performed on a combination of loads, consisting of constant and long-term loads, taking into account the change in the calculation scheme caused by local destruction.

$$C_S^{PO} = P_d + P_l$$

The reliability factor for responsibility when calculating structures for resistance against progressive collapse is accepted  $\gamma_n = 1,0$ . In the design task, the customer can set a reliability factor for responsibility  $\gamma_n > 1,0$ .

To calculate the stability of buildings against progressive collapse, a spatial calculation model was used, which takes into account the interaction with the soil foundation. The calculation models take into account the possible inclusion in the work of elements that under normal operating conditions of the building are non-load-bearing (for example, hinged external wall panels, parapets, reinforced concrete fences of balconies, partitions, etc.), and in case of local destruction actively participate in the redistribution of forces in the elements of the constructive system.

When calculating structures for resistance against progressive collapse, the possibility of staged calculation is provided. At the initial stage, the stress-strain state of structures under normal operation conditions is determined. At the next stages, the stress-strain state of the structures that occurs during local destruction was determined, provided that the deformations of the structures that occurred as a result of normal operation were taken into account.

The calculation of structural schemes was carried out, in case of possible destruction of one of the structural elements, and the load-bearing capacity of the elements was checked when the structural scheme was changed.

Selected separate calculation schemes are attached.

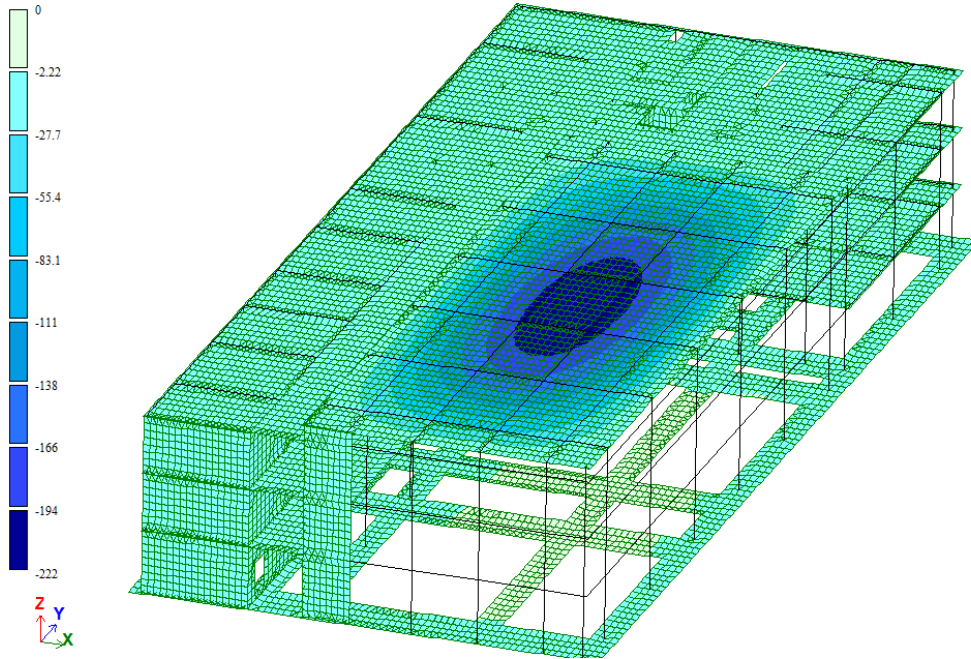


Figure 3. Deformed diagram of section A while preserving all structural elements

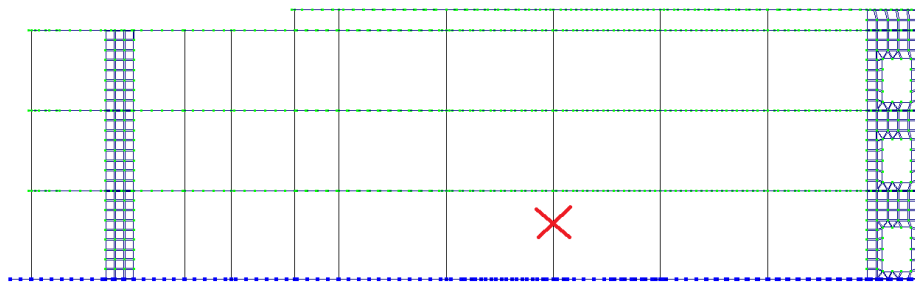


Figure 4. Section in the calculation scheme, when one of the columns of section A is excluded from operation

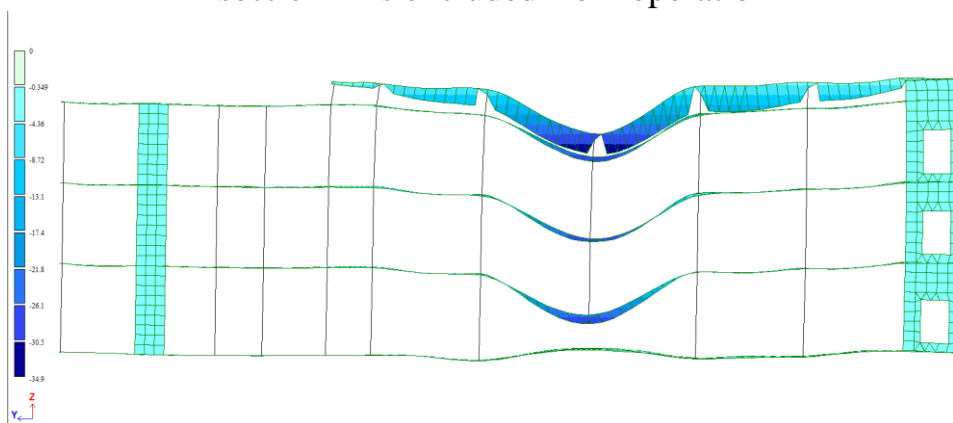


Figure 5. Deformed scheme in the frame, when one of the columns of section A is disabled

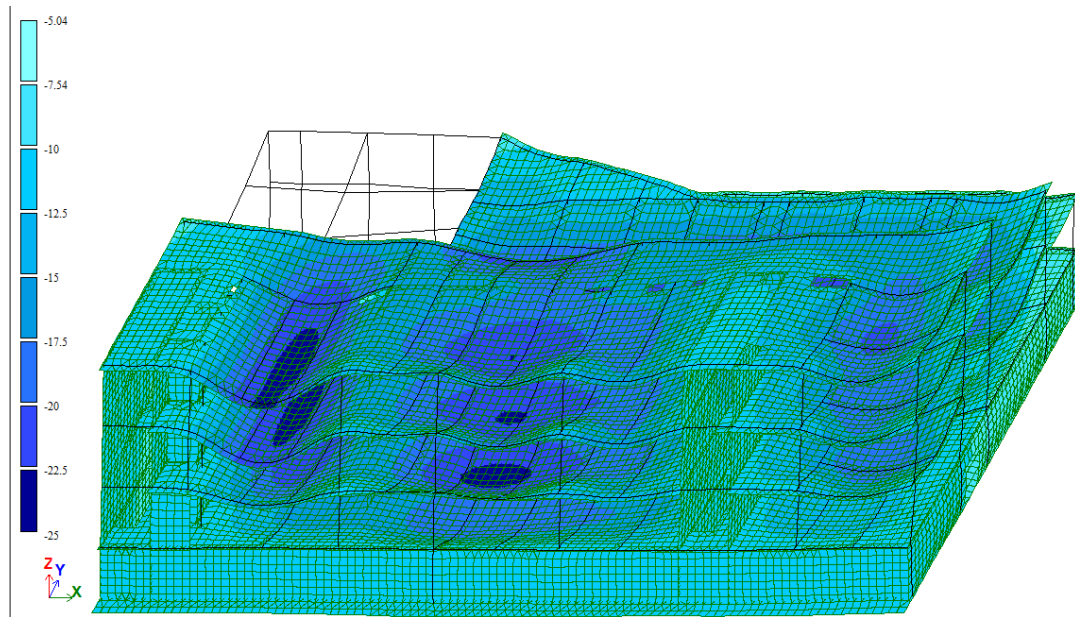


Figure 6. Deformed diagram of section B while preserving all structural elements

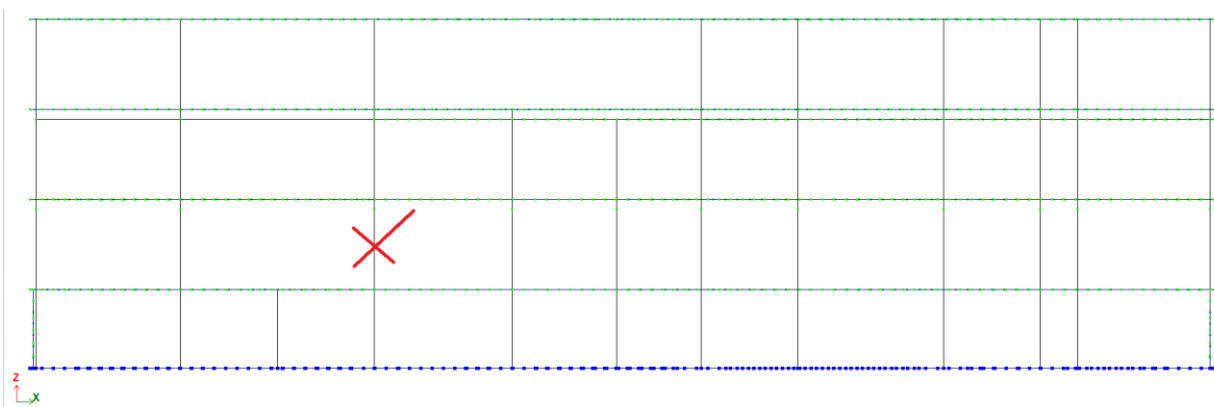


Figure 7. Section in the calculation scheme, when one of the columns of section B is excluded from operation

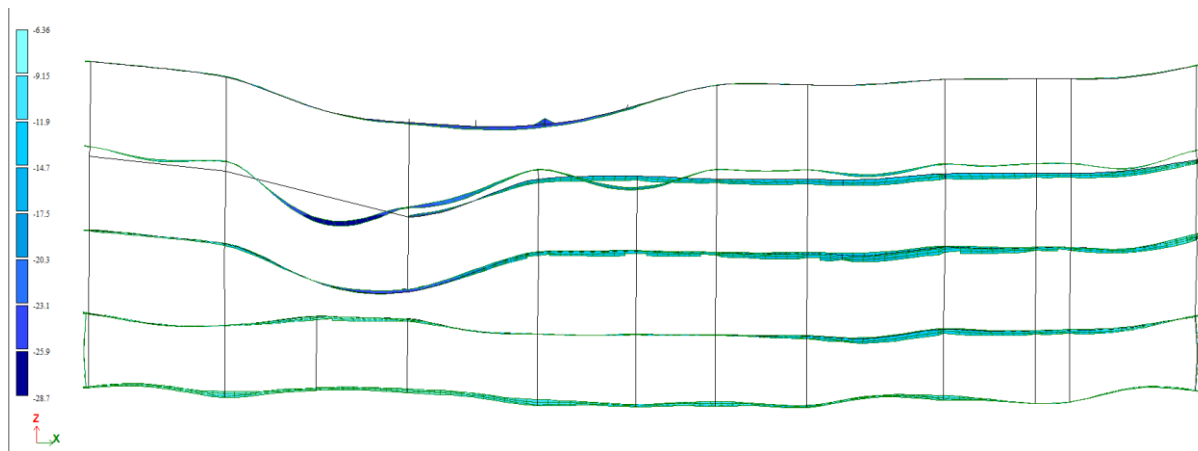


Figure 8. Deformed scheme in the frame, when one of the columns of section B is disabled

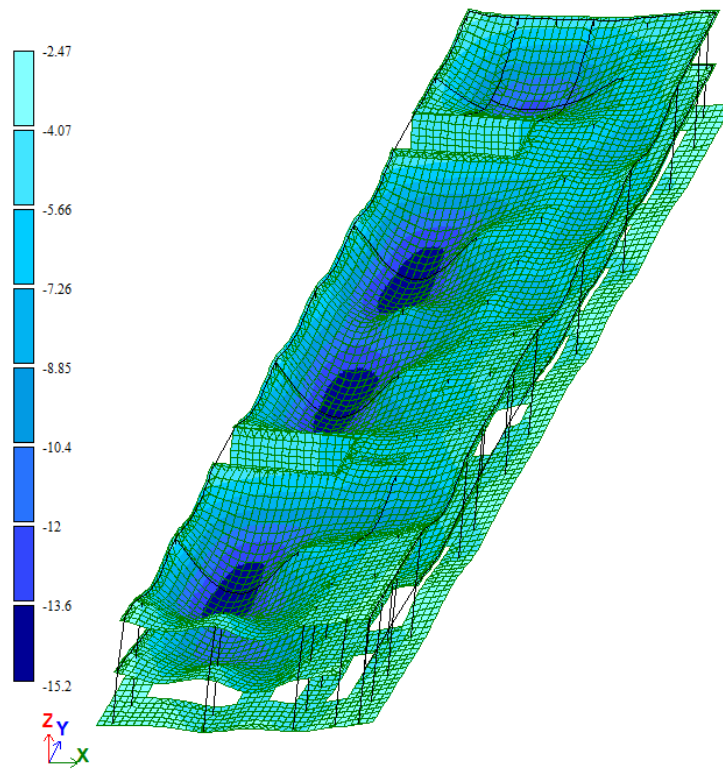


Figure 9. Deformed diagram of section D while preserving all structural elements

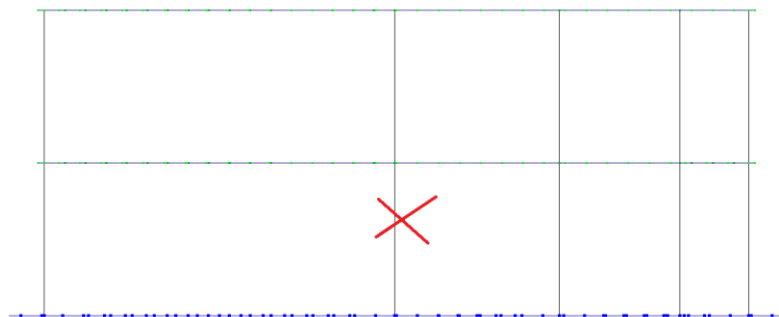


Figure 10. Section in the calculation scheme, when one of the columns of section D is excluded from operation

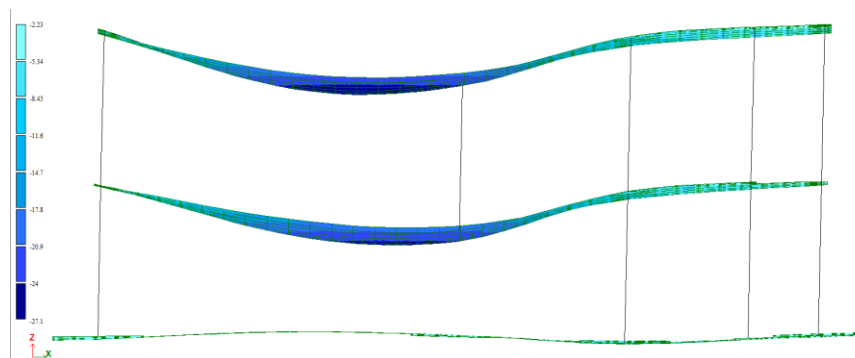


Figure 11. Deformed scheme in the frame, when one of the columns of section D is disabled

On the basis of calculations, it was established that in the case of exclusion of individual elements of the calculation scheme from work, the stability of the frame against progressive collapse is ensured.

The main constructive measures to protect structures from progressive collapse are:

- ensuring the necessary load-bearing capacity of structural elements and connections between them in the event of an emergency impact, which leads to local destruction;

- ensuring the necessary plastic deformations in the joints of structural elements.

- ensuring the sufficiency of the armature anchoring length when it works as a shear connection;

- provision in the intersections of lintels, beams, crossbars, slabs, in the ultimate state of failure in bending, not in shear.

Calculation of the progressive collapse of building structures during a fire makes it possible to identify "weak places" and find out what exactly can be done to delay the possible destruction of these structures. For example, to take certain measures from among those listed above. Why is this "postponement" necessary? At least in order to increase the period of time for safe evacuation from the building in case of fire, that is, to give existing persons more chances to escape.

The norms that determine the reliability of buildings and structures should be significantly expanded, especially regarding the rules regarding their durability and calculations in the event of structural collapse. In connection with the increased risks of emergency situations and terrorist acts, which are relevant in Ukraine today, it is reasonable to establish single survivability requirements for all objects of the SS3 consequence class and develop special norms to ensure it for various types of such buildings. This will correspond to the recognized foreign experience and will increase the national security of Ukraine.



## **2.2 Analysis of the main factors of the formation of housing for migrants**

Formative factors of housing for migrants were singled out, based on defined research methods: a) search and systematization of information from published publications, as well as from Internet sources by monitoring online portals; b) the method of field surveys, which involved the study of domestic examples of specialized housing for migrants in points of temporary stay and PTRB; c) the method of focus group interviewing of migrants and employees of institutions that administer existing institutions for the residence of migrants; d) in-depth analog interviewing of migrants of Ukrainian origin living abroad; e) standardized sociological survey of residents of Ukrainian cities; f) survey of experts in the field of psychology and real estate; g) a cartographic method of analyzing the urban planning aspects of the localization of residential facilities for migrants in the EU countries in combination with a parallel search and analysis of photo materials, textual information about these facilities and their impact on the surrounding buildings and the structure of the settlement as a whole. (fig.1).

**Socio-psychological factors of integration of migrants into the living environment of citizens of the host country.** The results of the focus survey (conducted by the author before 2014) show a dominant neutral position and a positive attitude of the residents of the region (74.6% in total) towards migrants. A negative attitude towards migrants is characteristic of the minority of surveyed citizens of Ukraine (25.4%), so Ukrainian society is not categorical in its rejection of migrants and their integration into Ukrainian society. Thus, Ukrainian society is open to migrants who aim to integrate into the already formed environment.

One of the blocks of questions aimed to reveal the mood of the Ukrainian society regarding the implementation of housing for migrants, did not show a uniform, structured opinion and vision. Most of the answers are blurred and for the most part do not contain a clear answer. At the same time, this survey revealed attitudes towards housing for migrants:

- housing provided by the state for migrants for free or partially paid use, the respondents perceive as providing comfort to outsiders at their expense. The interviewees motivate this statement with their own experience in providing housing for themselves or their families (Tab.1., Fig.1.):

"... I worked long and hard at a state-owned factory/enterprise to get housing from the state, and they (migrants) will come ready-made?";

"... in order to buy my own home, I had to work and save a lot, and the state will give them (migrants) just like that?";

"... in order to have my own home, I had to take out a very "binding" bank mortgage, I work a lot to "pay off" the apartment, and they (migrants) are given a home just like that";

"... I don't have my own apartment and I don't have the funds to buy it either, so I have to rent. Then why should I rent, and for my taxes some migrant will be given free housing?"



Fig. 1. Generalization of a focus survey of 240 citizens in different regions of Ukraine [66].

**Table summarizing the focus group survey of citizens in different regions of  
Ukraine**

№	City in which a survey was conducted	number of respondents	Age groups of respondents			Відповідь на поставлені питання					
						"What is your attitude towards migrants?"			"What is your attitude to the desire of migrants to integrate into Ukrainian society?"		
			18- 30	31- 45	> 46	Positive	Neutrale	Negative	Positive	Neutrale	Negative
1	Lviv	30	9	13	8	9	10	11	19	6	5
2	Lutsk	30	3	20	7	7	15	8	15	9	6
3	Ternopil	30	10	18	2	6	16	8	10	11	9
4	Mukachevo	30	9	16	5	10	11	9	12	11	7
5	Kyiv	30	11	12	7	6	17	7	9	7	14
6	Kharkiv	30	7	19	4	16	11	3	21	7	2
7	Donetsk	30	2	23	5	11	9	10	17	8	5
8	Mariupol	30	3	17	10	10	15	5	13	11	6
	<b>Total</b>	<b>240</b>	<b>54</b>	<b>138</b>	<b>48</b>	<b>75</b>	<b>104</b>	<b>61</b>	<b>116</b>	<b>70</b>	<b>54</b>
	Percentages	100 %	22. 5 %	57. 5 %	20 %	31. 3 %	43. 3 %	25. 4%	48. 3%	29. 2%	22. 5 %

Tab.1. Table summarizing the focus group survey of citizens in different regions of  
Ukraine [65].

The obtained data show an interesting trend - in cities where the quantitative component of migrants in society is the largest in Ukraine, the attitude towards migrants is more positive than in regions where there are fewer migrants. This shows that old people and threats from migrants are exaggerated and these theses need to be debunked.

The fact of revealing the heterogeneity of the attitude of Ukrainian citizens regarding the implementation of housing for migrants is important.

***The desire to integrate into a new society.*** According to the results of interviews with three focus groups of migrants in Ukrainian society, 73.3% of migrants expressed their willingness to integrate and 26.6% of migrants do not want to change their habits and lifestyle and do not want to adapt to the society in which they find themselves. In the conversation, it was repeatedly emphasized that migrants are ready to work and provide themselves with a new life (qualitatively different from the one they had in their homeland). They do not make many demands on the state, there is only a desire for minimal support in matters of providing temporary housing as a "transshipment point". These points are needed as a temporary shelter during the adjustment of life and the search for housing on the real estate market (housing that the migrant-refugee can maintain independently). All respondents expressed an opinion about temporary housing, which is able to minimally satisfy the requirements for everyday life, ensure socio-psychological stability and serve as a supporting factor in integration into society.

A survey of employees of detention centers for stateless persons and migrants indicated the willingness of children of migrants to study in general schools of the city, together with Ukrainians, take courses in the Ukrainian language and computer literacy. This is caused by a large surplus of free time and an understanding of the vital necessity of such a path. In essence, there is no choice for the migrant himself - either he adapts to new conditions and receives certain chances from the society of the host country, or he opposes the environment and becomes isolated, limited in access to the benefits of the new society. Migrants who see Ukraine as only a temporary area of stay on their way to third countries self-isolate.

***Inter-ethnic/inter-religious and domestic conflicts in migrant communities.***

During the interviews in PTRB and PTPI (*fig.2 Location of temporary accommodation centers for foreigners (PTPI) and stateless persons and temporary accommodation centers for refugees (PTRB) in Ukraine; Fig.3 Photo PTPI in Zhuravychy, Volyn region.*), the goal was to identify conflict according to certain markers. One such marker is interethnic/interreligious relations. None of the interviewed respondents mentioned ethnic intolerance or national misunderstanding as reasons for conflicts in everyday life between migrants. During the research, the issue of a possible conflict on ethnic or national grounds between migrants was even emphasized - to which a negative answer was received in all cases (*living conditions of migrants on fig.4, fig.5*). In turn, other causes of conflicts and misunderstandings were listed:

- a) Problems related to the organization of space in PTRB (46.6% of respondents)
- insufficiently ergonomic spaces or insufficiently comfortably arranged zoning;
  - underdeveloped communication spaces;
  - insufficient privacy of space in living rooms, and their low mobility in

transforming living space.

- b) Problems related to the actions and decisions of the PTRB administration (40% of respondents)

- prejudiced attitude towards certain residents of PTRB;
- cultivating and rewarding denunciations among residents of PTRB;
- irrational drawing up of alternating schedules in the use of household items.



*Fig.2. Location of temporary accommodation centers for foreigners (PTPI) and stateless persons and temporary accommodation centers for refugees (PTRB) in Ukraine*

If it is unrealistic to influence the actions and decisions of the PTRB administration by architectural methods, then problems related to the organization of space and everyday life can be partly solved by architectural means.

Psychological aspects of segregation of migrants into the new society. As part of this study, 5 experienced practicing psychologists were interviewed. The interviewing took place in the form of a comparative conversation. Psychologists emphasize the importance of separating migrants into a separate group, because they are in aggressive conditions for themselves and have much more points of vulnerability. The following theses were identified and articulated:

- the migrant, having found himself in new conditions and environment, seeks to rebuild familiar and comfortable conditions for himself;
- a migrant, during his stay in new, unusual conditions, reacts by looking for others similar to him - in order to jointly solve household problems;

- the processes of segregation and self-separation of the migrant from the surrounding society and separation of the citizens of the host society from the migrants are characteristic, but not mandatory;

The above-mentioned theses reduce the nature of migrant settlement to a concentrated and a low-concentrated type. Therefore, if you do not influence the processes of resettlement of migrants, the formation of ethnic/religious/racial enclaves is a completely predictable phenomenon, with accompanying negative processes. These theses provide a basis for understanding the need for cultural/religious centers for migrants - but with the condition of ensuring the dispersed location of such buildings/facilities in the structure of the settlement, their harmonious integration into the existing environment and the avoidance of domestic conflicts with the residents of the surrounding buildings. Cultural centers for migrants in residential quarters of Vienna were given as examples of the implementation of this approach.

The resettlement of single migrants, family migrants, migrants with and without children needs to be considered separately.

- a migrant has different requirements for housing than native citizens (toward their minimization) and limited financial opportunities, especially during the initial period of stay in the host country.

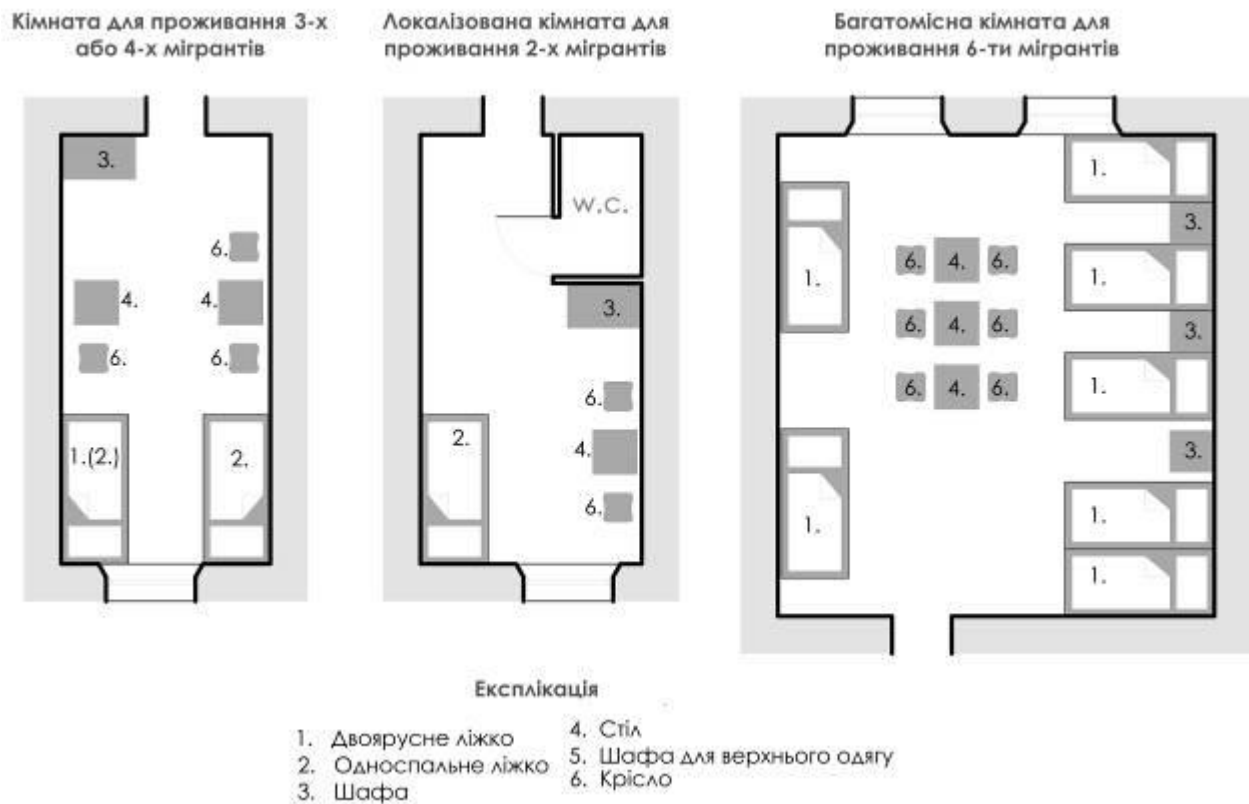


*Fig.3 Photo PTPI in Zhuravychy, Volyn region.*

The last thesis contains information about the fact that migrants need gradual socialization in a new society and not allowing sharp breaks in previous cultural/religious ties. The stated needs are absent in the host society by definition. An important factor is the migrant's psychological comfort in the feeling of being able to independently/partially provide for himself in everyday life - this includes the cost of rent, utility payments, food and leisure. If it is impractical and immoral to influence the payment of food and leisure by means of housing simulation, then the cost of rent and maintenance of the accommodation may vary depending on the parameters of the



accommodation. The target group of migrants considered in this work, as a rule, does not have financial support at the level of an average citizen - and therefore needs a cheaper and less costly accommodation.



*Fig.4. The layout of living rooms for migrants in the PTPI in Zhuravychy, Volyn region.*

Experts emphasize that citizens' phobia of migrants can be overcome by a dispersed or less concentrated influx of migrants into the new society and not by pitting them against each other. This statement serves as a strong architectural argument-factor. Psychological stability of migrants and the society surrounding them is the key to mutually beneficial development and self-realization. This statement prompts the search for mechanisms for implementing the solution of social and psychological problems by means of architecture.



*Fig.5. Photos of multi-bed rooms for three (four) and six people (author's photo)*

Interviewing expert psychologists showed the prospect of further research and the possibility of success of architectural developments to reveal this topic. Therefore, the psychological comfort of migrants can be ensured by the implementation of compact energy-efficient housing, which should be dispersed throughout the structure of the settlement and the possibility of

### **2.3 Arrangement of the hole in the shopping and entertainment center floor slab**

In modern conditions of the accelerated pace of urban life, the problem of time shortage is acute. This leads to the integration of cultural and household service institutions into the structure of trade institutions, which is manifested in the formation of shopping and entertainment centers, the potential of which is extremely high: from solving the local needs of consumers to meeting their social and cultural needs. Shopping and entertainment centers are powerful points of social attraction that have become a familiar element of the urban environment. Their success depends directly on the architectural and technological solutions that are conceptually embedded in the project.

A shopping and entertainment center is a multifunctional architectural building, and the integrating link in its structure is a communicative space (an environment that performs the function of communication between elements of functional content). Many works are devoted to the spatial organization of multifunctional entertainment complexes [67, 68].

The authors of the article faced the problem of additional spatial organization of the communicative space in one existing multifunctional entertainment complex in the city of Lviv. With a slight change in the functional content in part of the complex, the issue of additional vertical communication between different levels arose, which involved the installation of additional stairs and an elevator (Fig. 1). The installation of new communications led to an intervention in the supporting structures of the building - an additional opening of 5.16×5.06 m in the existing monolithic floor slab on the 6,200.

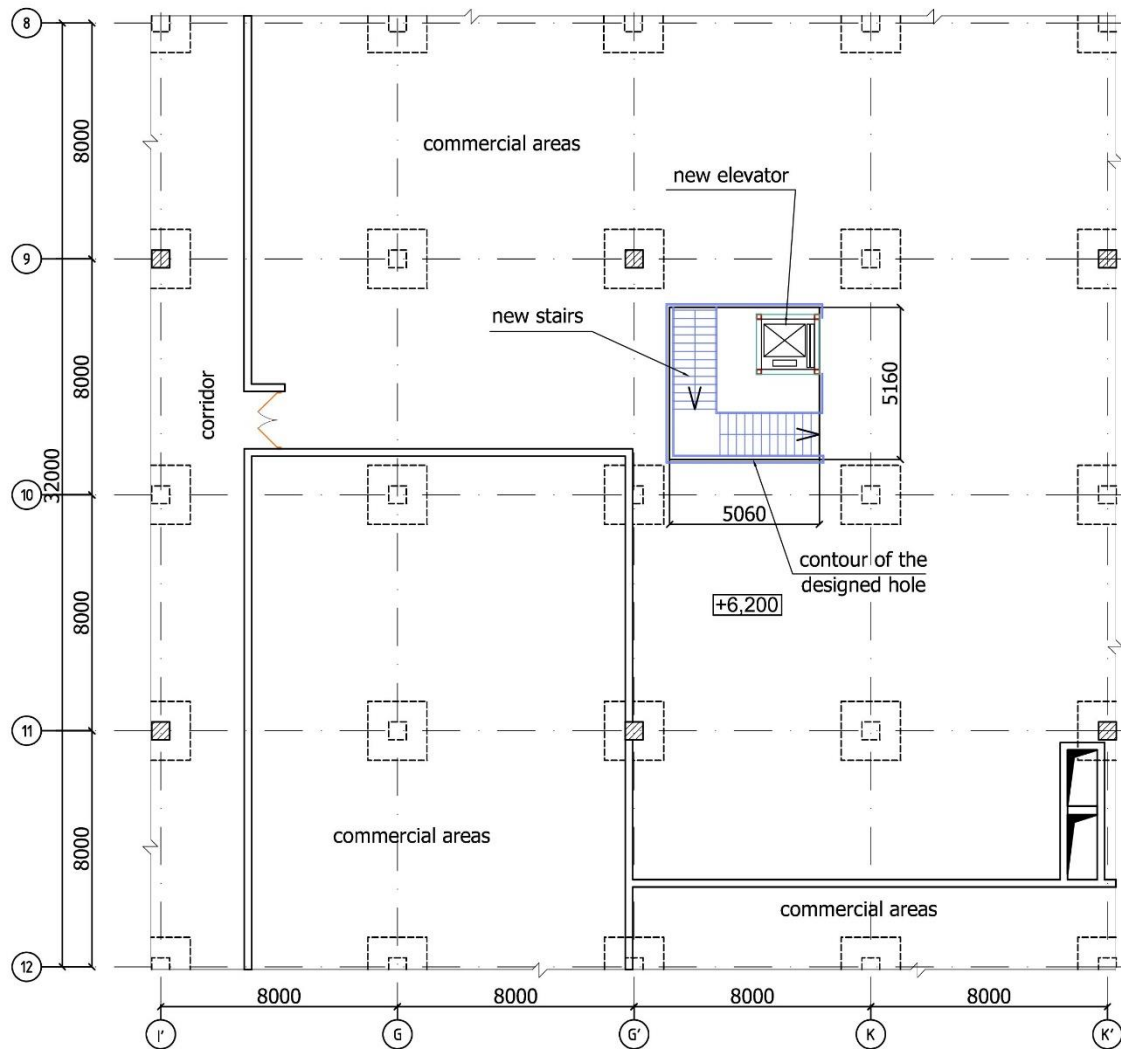


Figure 1. Layout of new vertical communications

The building of the complex, according to the construction scheme, is a frame made of monolithic RC. The column grid of the 1st floor (within the considered area) is  $8.0 \times 8.0$  m, the 2nd floor is  $16.0 \times 16.0$  m. Columns with a section of  $600 \times 600$  mm with capitals. The overlap is monolithic with a thickness of 250 mm (in axes «I'-K/9-11») and 300 mm (on all other sections). Design reinforcement of the floor slab - reinforcing mesh with working reinforcement  $\varnothing 18$  A500C,  $s=200$  mm. The slab is made of C30/35 class concrete. The characteristic value of loads on the floor is adopted as follows: temporary useful -  $5.5 \text{ kN/m}^2$ , load from the floor's own weight -  $0.3 \text{ kN/m}^2$ ; the load from the self-weight of the floor structures is taken according to the provided drawing of the slab on the 6,200 m, the concentrated characteristic load from the stairs

is assumed to be 3.4 kN at four points. Reliability coefficients are accepted according to regulatory documents [69].

In order to make a decision about the possibility of executing a new hole, a calculation was made in the Lira software complex (Figs. 2, 3, 4).

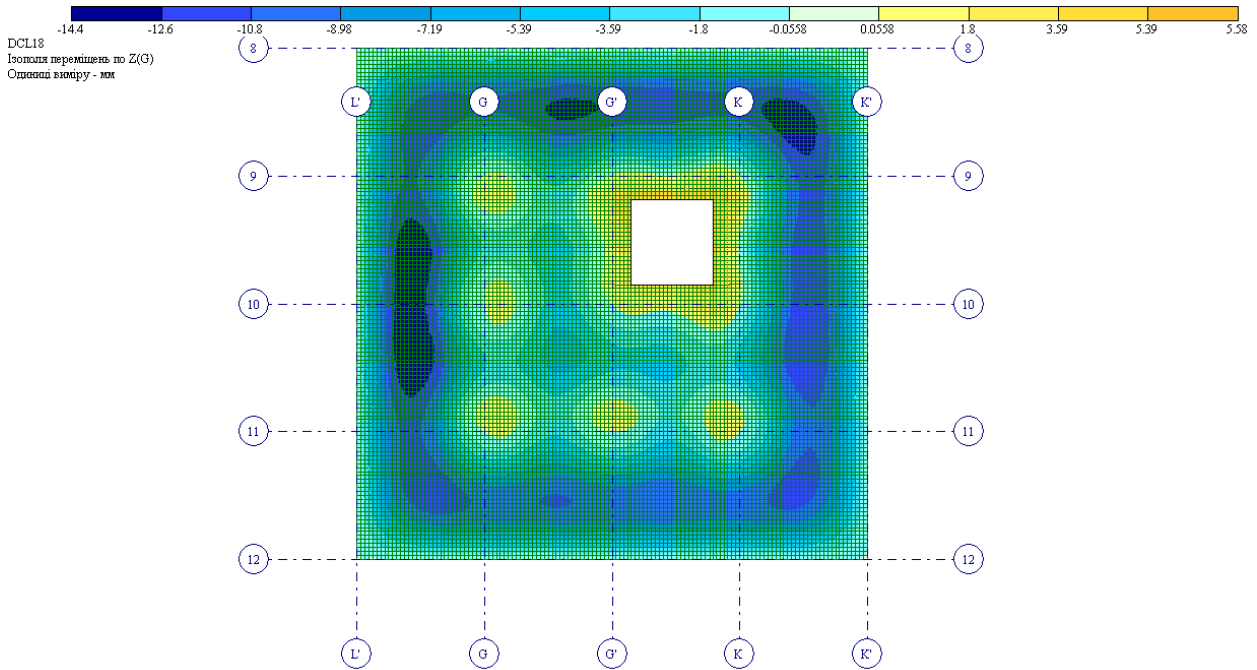


Figure 2. Mosaic of floor slab movements

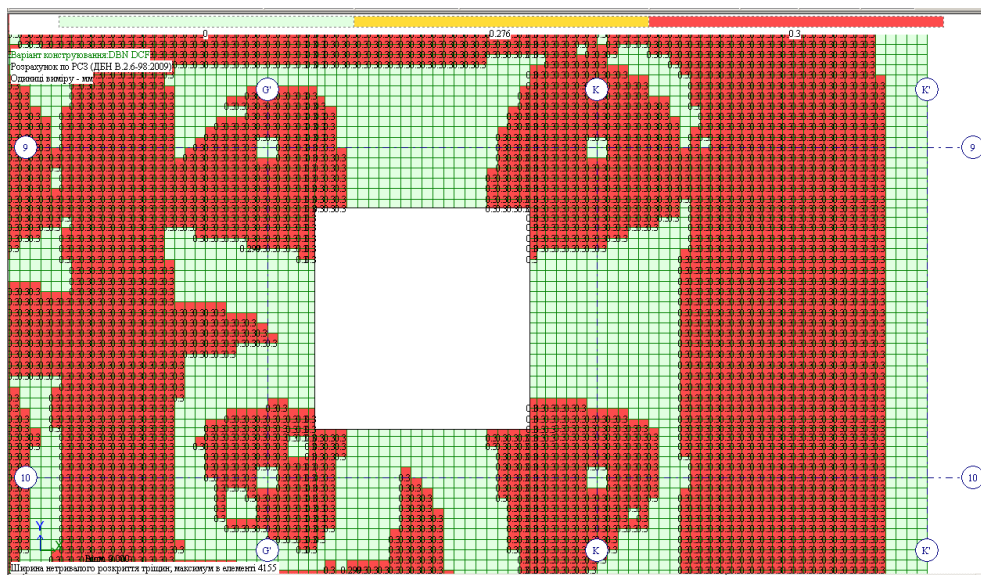


Figure 3. Crack opening width mosaic

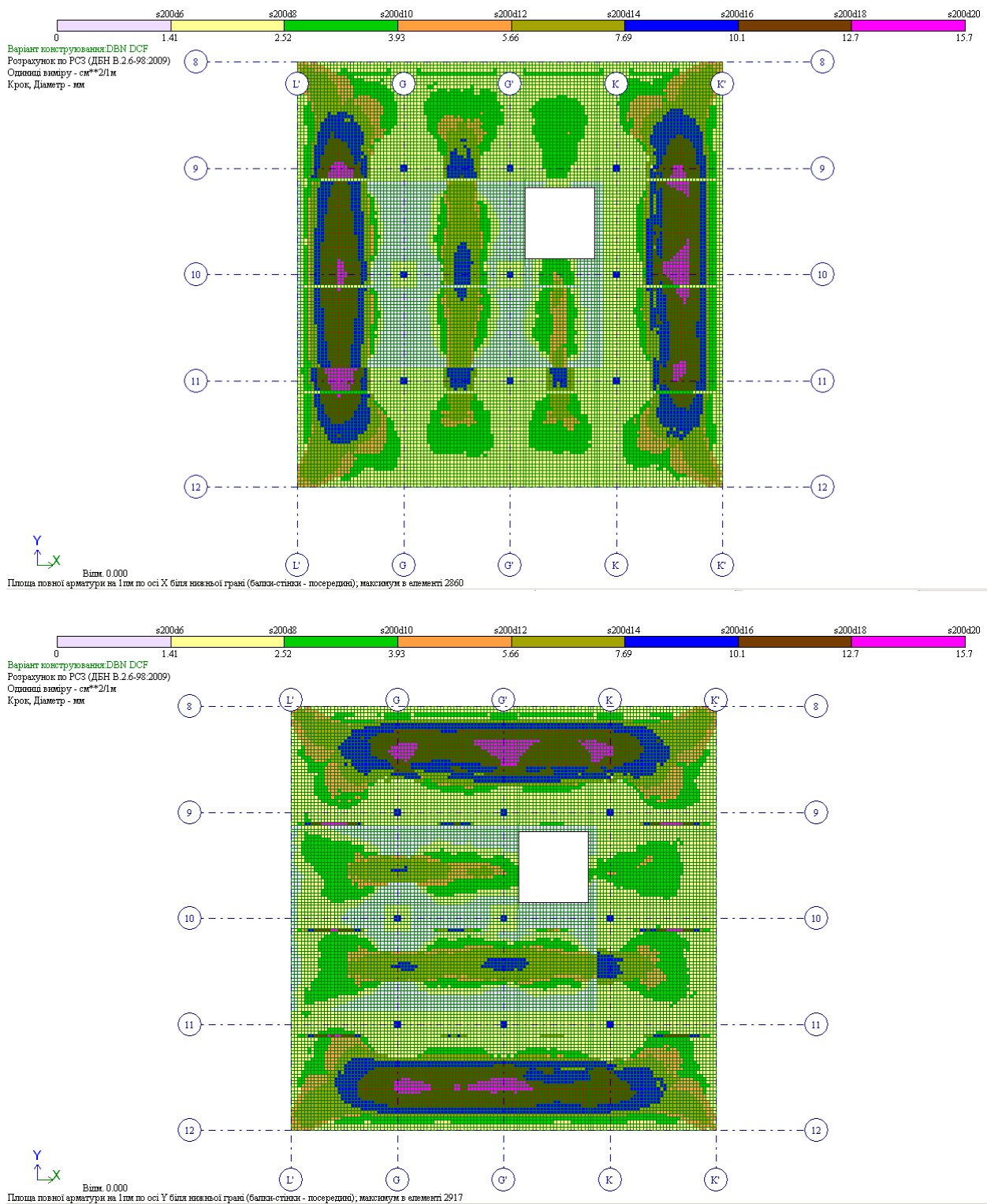


Figure 4. Mosaic of floor slab reinforcement

Based on the calculations, after arranging the slot in the floor slab, for a slab with a thickness of 300 mm, there is not enough reinforcement in the span «K-K'» along the axes «9» and «10» and in the span «8-9» - along the axes «G'» and «K» ( $15.7-12.7=3.0$  cm<sup>2</sup>).

As additional reinforcement, it was decided to use carbon composite tapes (CFRP) Sika CarboDur M-1214, which have proven themselves well at other objects [70, 71]. Carbon composite materials are often used when making openings in existing structures (Fig. 5).



Figure 5. Examples of the use of carbon composite materials in the arrangement of holes

Taking into account the physical and mechanical characteristics of the composite tapes, it was determined that in addition, in the spans «8-9/G'-K» and «9-10/K-K'» 9 tapes of 4.2 m length with a step of 1.0 m are needed (Fig. 6, 8). According to Sika technological maps, anchoring of composite tapes can be done with Sika Wrap 230C carbon fiber fabric. Also, from fig. 3, it can be seen that at the corners of the new hole, in the upper part of the slab, excessive cracking occurs. Therefore, it was decided to apply Sika Wrap 230C carbon fiber fabric with a width of 600 mm in three layers for a length of 5.4 m in these places (Fig. 7, 8).

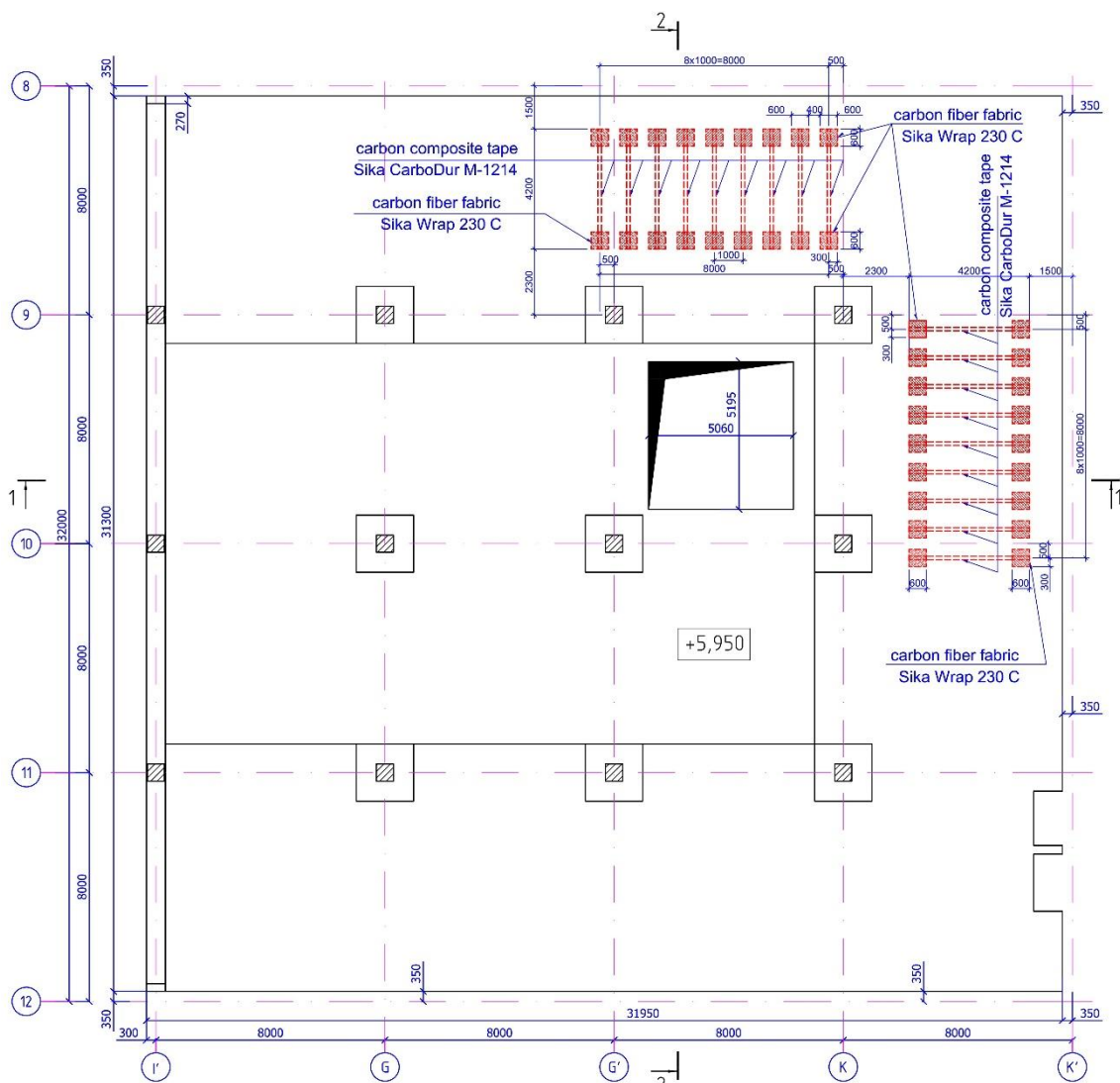


Figure 6. Reinforcement of the plate with Sika CarboDur M-1214 carbon composite tapes (bottom view)



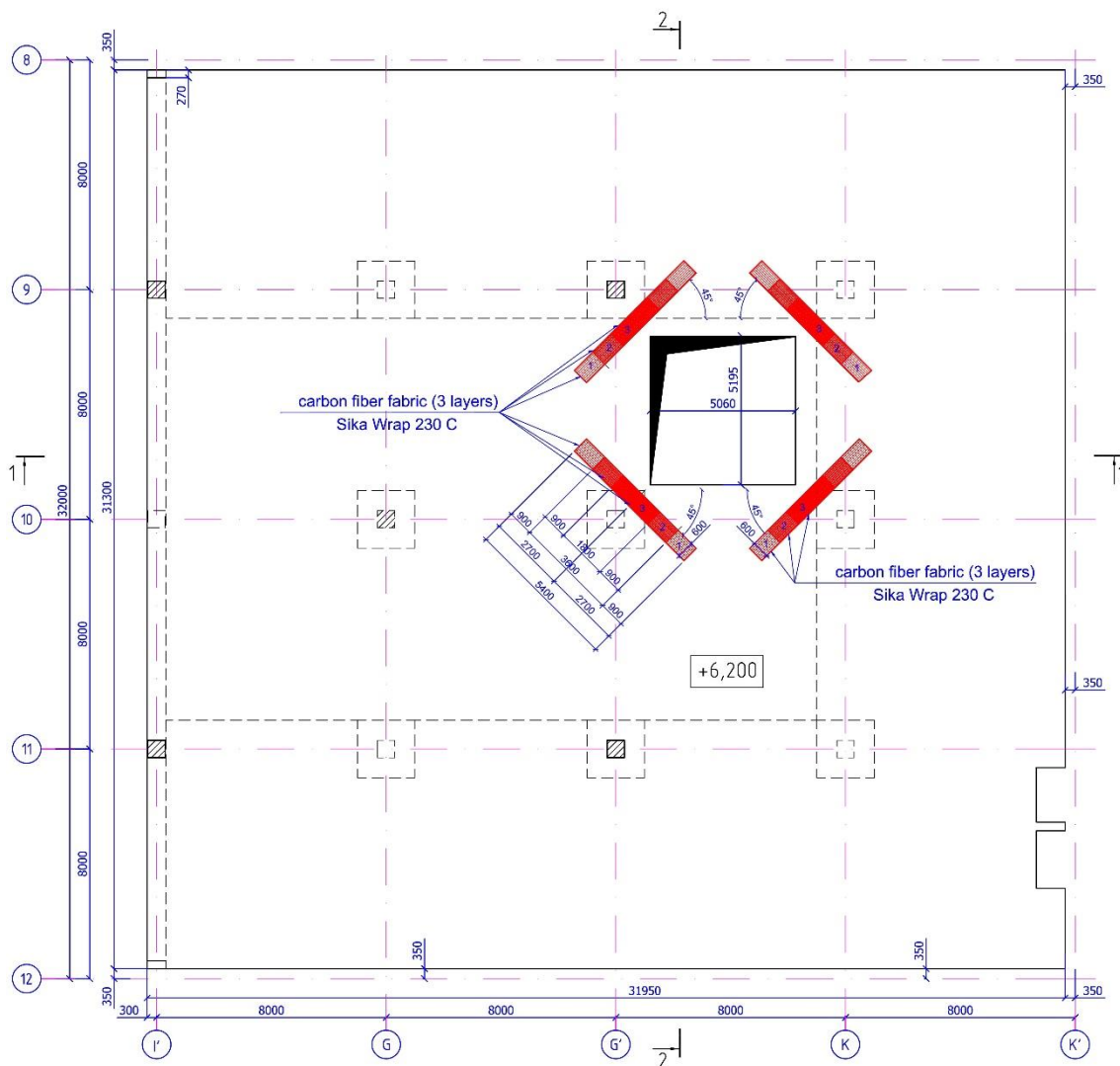


Figure 7. Reinforcement of the slab with Sika Wrap 230C carbon fiber fabric (top view)

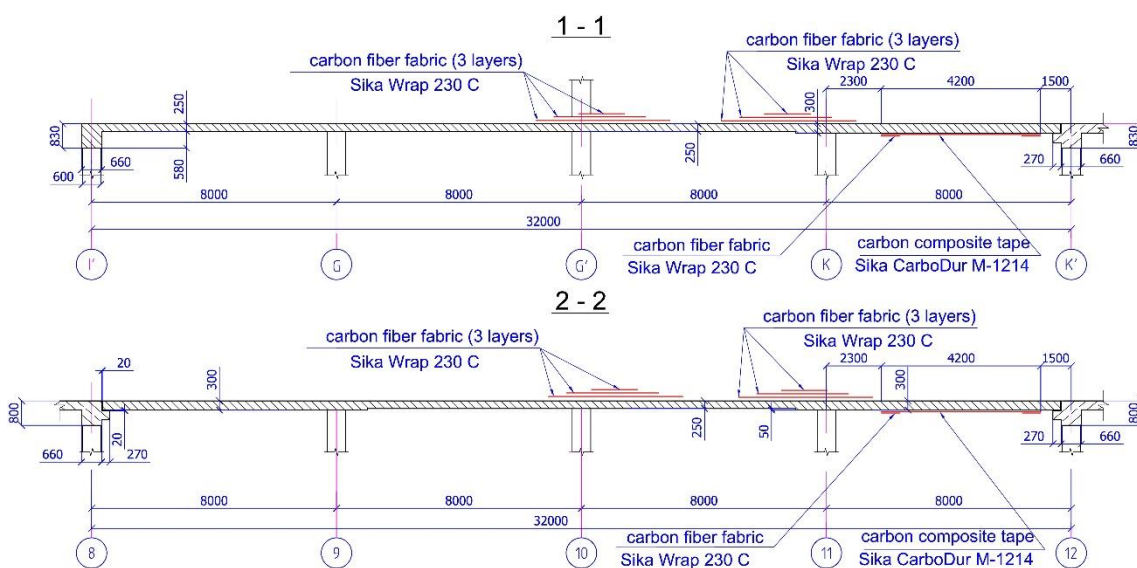


Figure 8. Sections «1-1», «2-2»

Sika CarboDur M-1214 carbon tapes are glued on Sikadur 30 glue. Sika Wrap 230C carbon fiber fabric is glued on Sikadur 330 glue. After gluing the tapes and fabrics, their surface must be covered with protective putty Sikagard 720 EpoCem, which should extend along the contour beyond the edge of the tapes and fabrics by 10 mm.

After the plate is reinforced, the hole is cut. The sequence of cutting the hole is as follows:

- first, a contour measuring  $5.38 \times 5.28$  m is cut (Fig. 9), which is accordingly increased along the perimeter from the nominal design opening by 110 mm. A RC slab is cut along the contour along with all the fittings;

- then you need to make a contour measuring  $5.5 \times 5.4$  m (Fig. 9), which is increased along the perimeter from the nominal design opening by 170 mm. Within this contour, only the concrete is removed, and the 60 mm long reinforcing bars of the upper and lower reinforcement of the slab remain.

To ensure the rigidity of the contour and the ability to support the staircase structures, it was decided to frame it with double channels #27 (Fig. 10). To do this, holes are made in the channels of the first row for the passage of the plates' reinforcing rods. Then these channels are installed around the perimeter in the design position and fixed by welding the reinforcement outlets through the washers. The voids between the walls of the channels and the surface of the vertical plane of the slab contour are carefully filled with high-strength SikaGrout - 314 solution. After that, a second row of channels is installed around the perimeter, which are welded to the channels of the first row.

The considered variant of arrangement of a large opening in the existing floor made it possible to solve the problem with the spatial organization of the communicative space in the existing multifunctional entertainment complex. Sika materials have proven themselves to be reliable for this type of reinforcement.

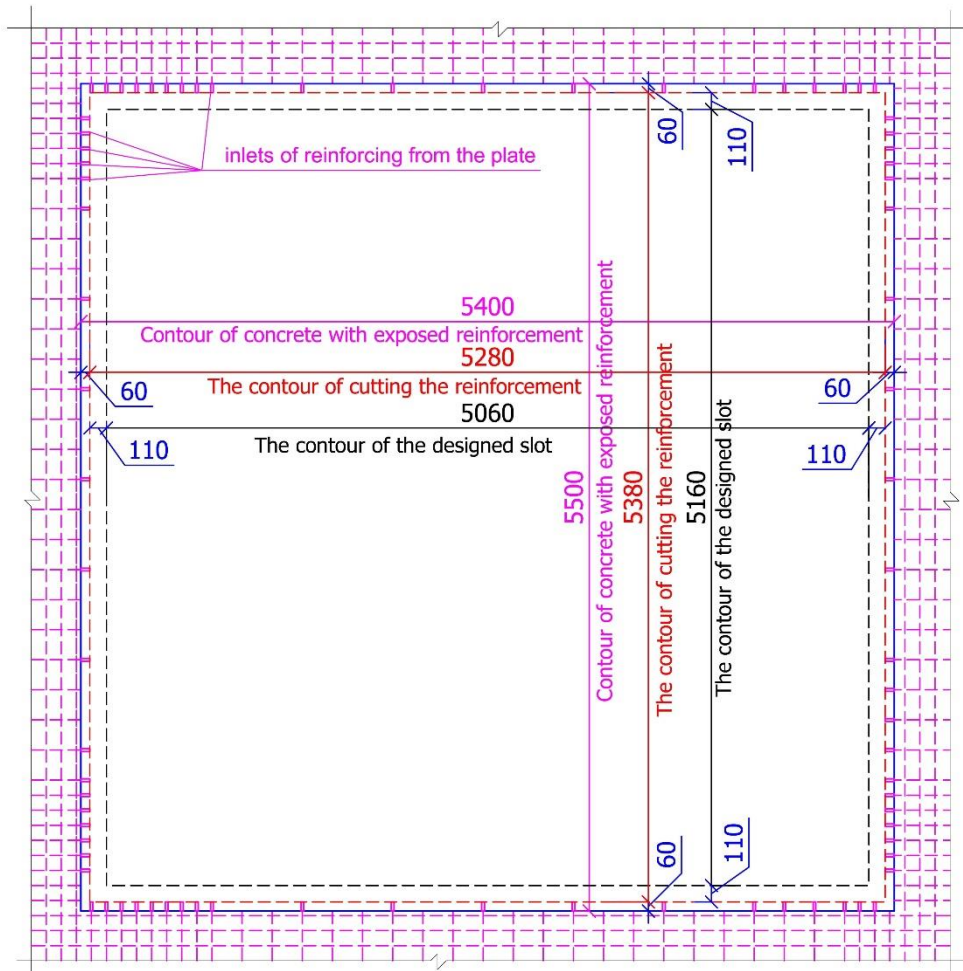


Figure 9. Diagram of the dimensions of cutting a hole in a slab

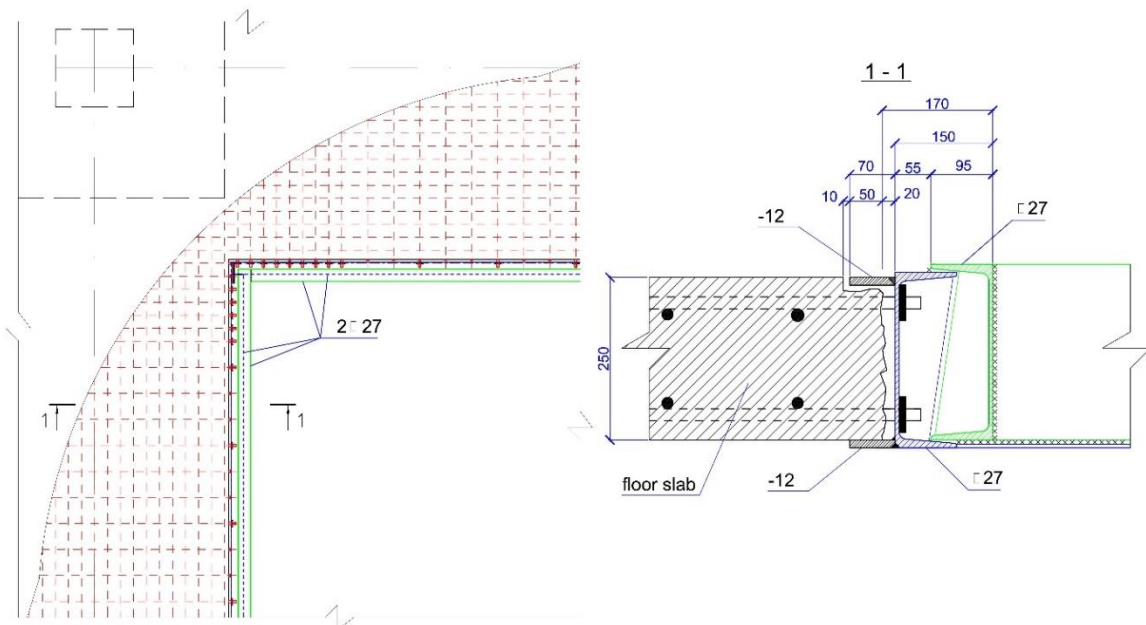


Figure 10. Scheme and assembly of the hole framing device

## **2.4 Preparation of industrial waste for use in the construction industry**

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 [72-79].

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 [80-83].

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 [83-84], and about 800,000 tons of phosphogypsum are stored on the territory of the former Khimprom plant [85-86]. About 300 thousand tons of dispersed metal waste - metal sludge - have been accumulated at the enterprises of metal processing enterprises of the region [87-88].

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 [89-91]. 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 [92-93].

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.

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, 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 [94-95], etc.

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 [96].

The density of fly ash from the combustion of different fuels ranges from 1800 to 2400 kg /m<sup>3</sup>; the average porosity of the ash is 4.8-7.4 %; bulk density - from 600 to 1100 kg/m<sup>3</sup>. 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 a size of 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  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  significantly affects the basic physical and chemical properties of construction products. As a result of previous [97-98] 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. Table 1 shows the chemical composition of the ash removal of Ladyzhyn TPP.

**Table 1**

Chemical composition of fly ash from Ladyzhyn TPP

The content of oxides	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{At}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	
Ash slag Ladyzhyn TPP	49.26	23.00	19.35	3.53	1.79	2.11	0.40	0.10	1.40
Ash-removal of Ladyzhyn TPP	52.1	23.1	15.6	3.16	1.08	0.4	1.2	0.57	0.7

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 [99-100].

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. The authors in works [101-106] 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. Table 2 shows the different names of waste, the method of their activation and the recommended scope of use in the construction 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 [108-111] came to the following conclusion:

- the efficiency of the use of ash in the composition of cement-sand compositions subject to heat treatment (TVO) is higher not only in quantity but also in quality, the coefficient of pozzolanic ash in the studied systems after TVO is 2-2.5 times higher than 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.

**Table 2**

Relationship between types of fuel ashes and slags, methods of their activation and possibilities of their use as a part of building materials and products [107]

Name of energy waste	Type of activation	Building materials and products	Scope of use
Fly ash	chemically (alkaline earth)	binders modified by plasticizing additives with an ash content of up to 35 wt.%	commodity concrete mixes
	mechanochemical (alkaline + mechanical activation in the speed mixer)	binders and concretes based on them, including those with improved thermophysical properties, containing up to 60 wt.% ash	three-layer expanded clay concrete wall panels
Hydro-removal ash	mechanochemical (alkaline + grinding)	effective binders (with an ash content of up to 60 wt.%) and concretes based on them	single-layer pavements of III and IV category roads
Fluid ash	mechanochemical (sulfate + grinding)	binders and concretes based on them, containing up to 85 wt.% waste	single-layer pavements of III and IV category roads

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 [112].



The authors in their works [113-114] 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. The chemical composition of phosphogypsum of Vinnytsia VO "Khimprom" is shown in table 3.

Bulk density of phosphogypsum is a variable and depends on moisture, fractional composition and degree of compaction. Phosphogypsum is a material that is very easy to compress. When it is compressed there is a decrease in porosity, displacement or movement of moisture. The total humidity of phosphogypsum is approximately 66%. The maximum molecular humidity is 15-16% and is characterized by the property of phosphogypsum to retain moisture by molecular adhesion between phosphogypsum particles and water.

**Table 3**

Chemical composition of phosphogypsums of Khimprom Vinnytsia

The main components	Content,% by weight	
	phosphogypsodihydrate	phosphogypsum hydrate
Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5-1.5	1.2-1.5
Water-soluble P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1-0.7	0.7-2.0
CaO	22-23	25-28
SO <sub>3</sub>	38-39	45-47
F	0.1-0.2	1.2-1.5
Water is hygroscopic	21-29	18-22
Crystal hydrate water	19-21	5.5-6.5

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 [115]. 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 unwashed phosphogypsum makes it difficult to obtain 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.

Phosphogypsum has been studied as a raw material for the production of gypsum binder, as well as in the manufacture of cement as an additive to regulate the setting time of cement paste. However, due to the fact that phosphogypsum cannot be used from a technological point of view without special preparation (drying and briquetting), this method of disposal has found use only in those countries that do not have natural gypsum stone. So in Japan, all phosphogypsum is used in the cement industry.

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  $H_3PO_4$ ,  $CaHP_4$ ,  $Ca(H_2PO_4)_2$ ,  $H_2SiF_6$  and  $HF$ , forms insoluble compounds of  $Ca_3(HPO_4)F$ ,  $Ca_5(HPO_4)OH$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $CaSiF_6$ , and  $CaF_2$  [116- 118]. 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 1450-1500 ° C and lime - 1000-1200 ° C, so the cost of lime should be zero due to less use of energy component.

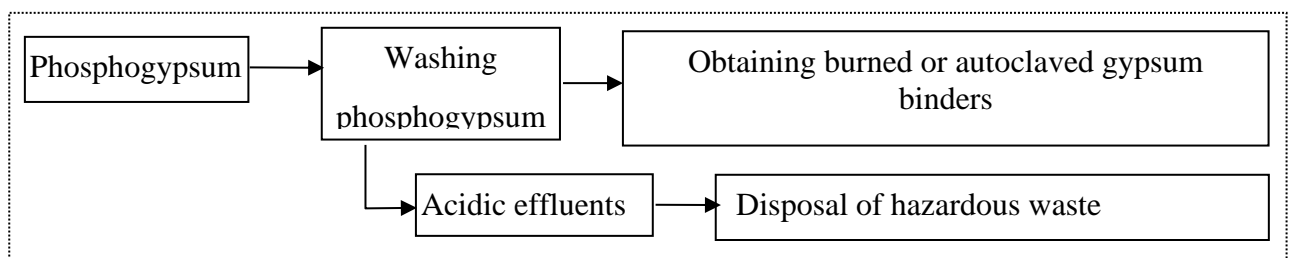


Figure 1. Scheme of production of fired and autoclaved gypsum binders from phosphogypsum.

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. Figure 1 shows the scheme of production of fired and autoclaved gypsum binders from phosphogypsum. The disadvantage of this technology is the production of acidic aqueous solutions with an acid concentration of 2 to 6% wt.

## 2.5 Numerical methods in soil mechanics and geomechanics

When writing this monograph, an attempt was made to represent in a concentrated form the currently accepted classification of numerical methods that are used in solving problems of soil mechanics and geomechanics in general. At the same time, the goal was also to highlight the advantages and disadvantages of each of the considered numerical methods.

First, let's answer the question of what "numerical methods" are.

Since, as a result of solving a particular problem, we obtain either one number (for example, the stability coefficient of a slope or inclination) or a certain set of numbers (for example, when calculating contact stresses at the "foundation-base" contact, stress distribution fields, pressure in the pore fluid of the base, etc.) all methods for solving engineering problems are numerical.

Therefore, the currently accepted classification of foundation calculation methods is somewhat arbitrary. Up to now, the following practice has developed for categorizing methods for calculating soil foundations:

1. **Analytical methods** are typically used to solve simple problems, for example, when calculating stresses in the foundation from the natural weight of the soil, concentrated force applied to the upper boundary of the foundation, stability of a vertical slope, etc.

The advantages of analytical methods are their simplicity and accessibility, and the disadvantages are a very limited range of engineering problems that can be solved using them [119, 120]).

2. **Graphic-analytical** (for example, Kuhlman's method [121]).

The advantages of graphic-analytical methods are their simplicity, clarity, and accessibility, and the disadvantages are a very limited range of engineering problems solved with their use, as well as low calculation accuracy (it is determined by the angles, scales, and thickness of lines on the diagrams available when performing graphical constructions).

3. **Tabular** (these include, for example, the methods of Sokolovsky, Goldstein, and many others [121, 122, 123]).

The advantages of tabular methods are their simplicity and accessibility, and the disadvantages are a very limited range of engineering problems that can be solved using them.

4. **Engineering empirical and semi-empirical methods** (these include most of those set out in SCN, as well as procedures, for example, the method of layer-by-layer summation when calculating the settlement of foundations, the method of a circular-cylindrical sliding surface when determining the stability coefficient of slopes and inclinations, etc.) [121, 124, 125, 126, 127].

The advantages of engineering empirical and semi-empirical methods are:

4.1. Simplicity and accessibility.

4.2. Relationship with experimental data.

4.3. Clear boundaries for changing the parameters introduced to empirical and semi-empirical formulas, within which engineering empirical and semi-empirical methods should be applied.

4.4. Good agreement between the calculation results and experimental and field data.

The disadvantages of engineering empirical and semi-empirical methods are:

4.5. A narrow range of problems that can be solved using the indicated methods.

4.6. The detail of calculation schemes is insufficient to solve many practical problems.

5. **Numerical methods based on the principles of continuum mechanics** [128, 129, 130, 131, 132, 133, 134].

Recently, these methods have become quite widespread. Therefore, let us dwell on their features, advantages, and disadvantages in more detail.

Depending on the technique of performing calculations, these methods are divided into:

**5.1. Finite difference method** (when implemented, the derivatives of the sought functions included in the equilibrium and state equations within the computational domain are replaced by finite differences) [128, 129].

Typically, this version of numerical methods is used to solve the following problems in soil mechanics and foundation engineering:

- thermal conductivity;
- filtration of pore fluid;
- filtration consolidation;
- determination of the stressed-strained state, strength, and stability of soil foundations.

The advantages of the finite difference method are:

5.1.1. **Ease of implementation:** the finite difference method is based on approximating derivatives by difference ratios, making it relatively simple to understand and implement.

5.1.2. **Versatility:** the finite difference method can be used to solve a wide class of differential equations, including ordinary differential equations and partial differential equations. This makes it a versatile tool for modeling various physical and engineering problems.

5.1.3. **Flexibility:** the finite difference method makes it possible to choose different grids and discretization steps, which makes it possible to adapt the method to a specific problem and achieve the required solution accuracy.

5.1.4. **Efficiency:** the finite difference method can be effectively applied to solve problems with nonlinear and inhomogeneous equations, as well as to model complex geometric structures.

The disadvantages of the finite difference method are:

5.1.5. **Approximation error:** the finite difference method is based on approximation of derivatives, which can lead to errors in the solution. This is especially noticeable when using coarse meshes or large sampling steps.

5.1.6. Geometry constraints: the finite difference method requires discretization of space, which can be difficult for complex geometric structures. For example, when modeling objects with curved boundaries, one may need to use unstructured meshes.

5.1.7. Computational complexity: solving problems using the finite difference method can be computationally complex, especially at large grid sizes or when there are nonlinear equations. This may require the use of powerful computing resources.

5.1.8. Sensitivity to boundary conditions: the finite difference method can be sensitive to the choice of boundary conditions, especially in the presence of nonlinear equations. Setting boundary conditions incorrectly can lead to incorrect results or an unstable solution.

5.1.9. The impossibility of joint calculation of systems of the type "soil foundation – foundations – above-foundation structure" (Fig. 1).

Currently, the finite difference method is used to solve problems of geomechanics listed in paragraph 5.1.

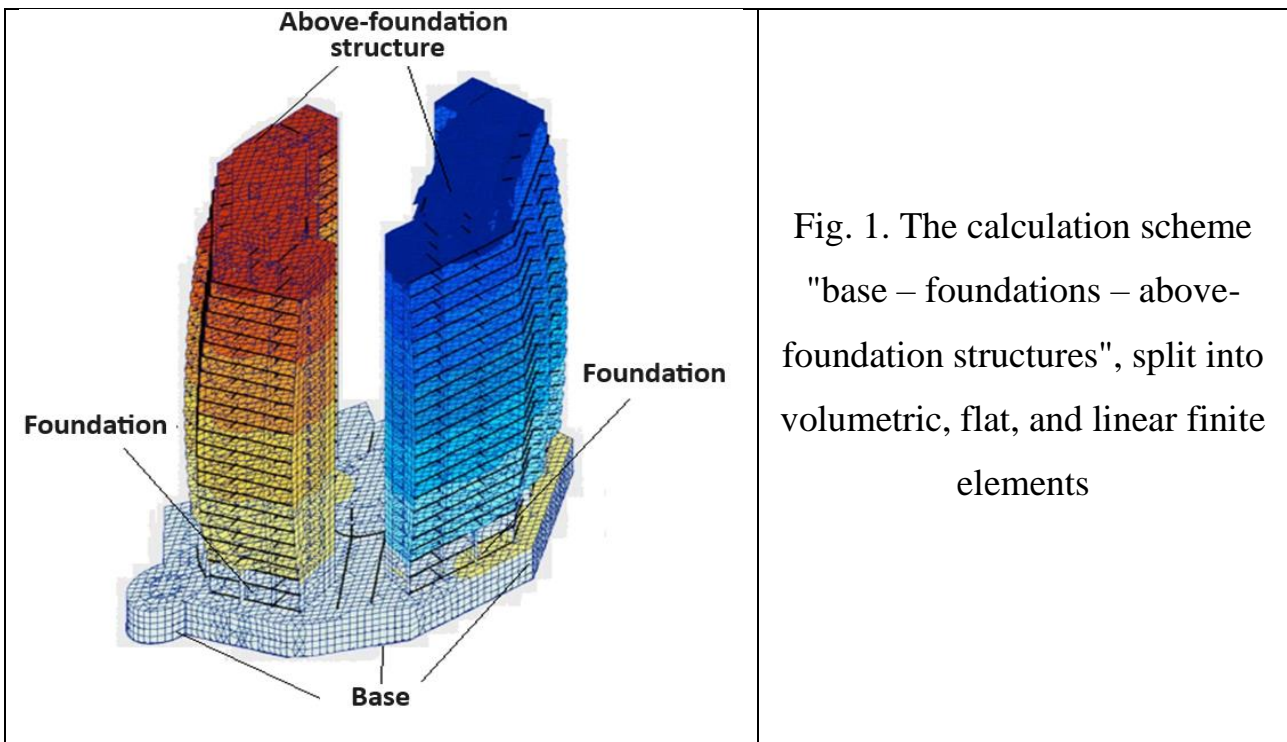
5.2. **The collocation method** is a projection method for solving integral and differential equations, in which an approximate solution is determined from the condition of satisfying the equation at certain specified points [129, 130].

In simple words: if, when solving a problem using the finite difference method, we replace finite differences in one or more coordinates with ordinary or partial derivatives (while we must leave finite differences in the remaining coordinates), **then we obtain the collocation method.**

The advantages of the difference collocation method are:

5.2.1. All the inherent advantages of the finite difference method.

5.2.2. The ability to reduce the dimensionality of a problem by one or several orders of magnitude.



The disadvantages of the collocation method are:

5.2.3. All the inherent disadvantages of the finite difference method.

5.2.4. Problems arising when satisfying boundary conditions and assessing the accuracy, convergence, and stability of solutions obtained using the finite difference method.

Currently, the collocation method has limited use in solving geomechanics problems.

5.3. **Boundary element method** [129, 131, 132]. When solving practical problems, it is necessary to take into account rather complex boundary conditions. Therefore, it is impossible to obtain analytical solutions to such problems. At the same time, it is quite easy to obtain analytical solutions for the simplest boundary conditions.

Therefore, it is proposed to find a solution to complex problems by dividing the boundary of the considered area into a number of sections, the loads within each of which correspond to the loads adopted when constructing analytical solutions.

As a result, a system of linear algebraic equations is built, the unknowns of which are either the loads within each of the boundary elements (**force method**) or the displacement of their centers (**displacement method**).



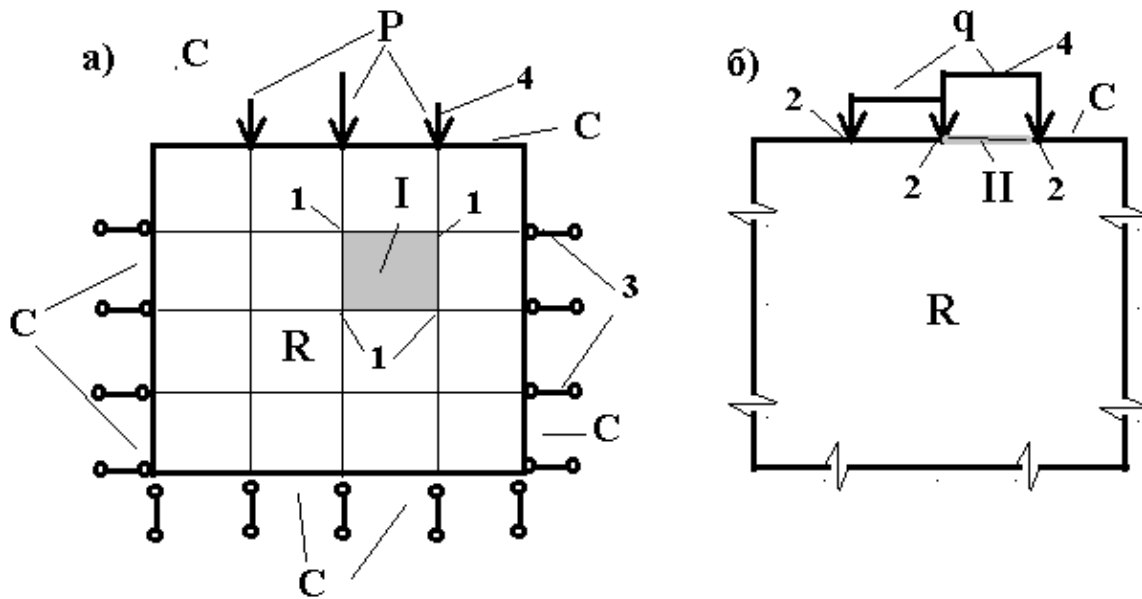


Fig. 2. Finite-element (a) and boundary-element (b) approximations of the calculation domain R.

I – finite element; II – boundary element

1 – nodes of finite elements; 2 – nodes of boundary elements; 3 – connections; 4 – nodal loads, distributed loads

The solution of the problem with complex boundary conditions is obtained by superposition of the simplest solutions.

This approach to solving boundary value problems was termed the **boundary element method** (BEM, Fig. 2b). Usually, it is used to solve linear problems.

There are **direct**, **semidirect**, and **indirect** boundary element methods.

The essence of the **direct boundary element method** is that, in this case, the functions to be defined in the integral equations have a specific physical meaning.

The essence of the **indirect method of boundary elements** is that, first, singular solutions of the problem that do not have a specific physical meaning and satisfy the boundary conditions are found, using which the remaining required boundary parameters are calculated.

There is also a distinction between **internal and external problems** of the boundary element method. The **internal problem of BEM** is understood as the variant when the calculation domain R is bounded by the closed circuit C.

The **external problem of BEM** is understood as such a variant when the calculation domain  $R$  is unbounded.

The advantages of the boundary element method are:

5.3.1. The possibility of constructing solutions for areas that are unlimited in plan and in depth (this is fundamentally impossible to do using the finite element method).

5.3.2. From a computational point of view, the boundary element method leads to a system of equations of a lower order than the finite element method when solving the same problem.

5.3.3. There is no need to interpolate the results of the solution within the calculation area (this drawback is inherent in FEM method).

5.3.4. Exact satisfaction of the initial differential equation within the calculation domain.

The disadvantages of the boundary element method are:

5.3.5. The traditional setting of the method considers boundary conditions of one type, either Dirichlet or Neumann. At the same time, the mixed problem is not considered.

5.3.6. The border of the calculation area must be smooth.

5.3.7. The fundamental impossibility of solving problems in which it is impossible to use the principle of superposition.

5.4. **Finite element method** [129, 133, 134]. In some cases (geometrical and physical nonlinearity, different equations of state in different subregions of the calculation domain, etc.), there is a need to divide the entire calculation domain into sections. This approach to solving the boundary value problem was termed the **finite element method** (FEM, Fig. 2a).

In the course of solving the problem using the finite element method, it is necessary to find the solution of the problem in the nodes of the grid. Values of the desired function outside the grid nodes should be determined by interpolation.

The essence of the method is to divide the studied area into separate parts, called finite elements, which connect to each other at a certain number of points, termed nodes. Each element is described by an approximate function, the values of which at

the nodes of the element are its solution and are unknown in advance. Outside its element, the function is zero. Separate equations are assembled into a general system of equations describing the entire domain. The number of equations is equal to the number of unknown values at the nodes and is limited only by the computational capabilities of the computer. Since the element is connected to a small number of neighboring elements, the matrix of equations has a sparse form, which greatly simplifies the solution.

Depending on the unknowns sought, three main forms of FEM are distinguished:

- FEM in the form of the displacement method;
- FEM in the form of force method;
- FEM in the form of a mixed method.

In the first case, the unknowns are displacements, in the second, forces, and in the third, both forces and displacements.

The most widely used version of FEM at present is the displacement method.

#### **Advantages of the finite element method.**

At present, the finite element method (FEM) firmly occupies a leading position in the practice of engineering calculations of construction structures, buildings and facilities. It is a powerful tool for scientific research.

The following advantages contributed to the enormous popularity of the FEM method:

5.4.1. The generality of the approach when solving various problems of calculating structures (including complex ones consisting of various structural elements of different dimensions).

5.4.2. The relative simplicity of accounting for the interaction of the structure with the environment (mechanical, temperature, corrosion effects, boundary conditions, etc.).

5.4.3. A high degree of adaptability to the automation of all calculation stages.

5.4.4. Natural mechanical interpretation and the possibility of building models based on a physical rather than a mathematical approach,

5.4.5. Possibilities of consideration of inhomogeneous bodies of arbitrary configuration, etc.

5.4.6. The presence of a large number of universal calculation software packages (at present, for example, ANSYS, NASTRAN, ABAQUS, SCAD, Robot Millenium, MicroFE, "LIRA", and many others, characterized by an increasing degree of automation of the generation of finite element networks, the formation and solution of a huge number of algebraic equations, as well as effective and efficient means of specifying initial data and visualizing results (preprocessor and postprocessor).

**Disadvantages of the finite element method.**

5.4.7. The most important drawback of the method is the need to discretize the entire calculation area, which inevitably leads to a large number of finite elements, and therefore unknown problems, especially for bodies with remote boundaries. In this case, there is a need to solve huge systems of algebraic equations that either take a lot of time or are impossible at all.

5.4.8. FEM is fundamentally unsuitable for solving problems with infinite boundaries (it is impossible to divide an infinite domain into a finite number of elements with finite dimensions).

5.4.9. The use of FEM in some cases leads to discontinuities in the values of the studied quantities since the procedure of the method imposes continuity conditions, usually only at the nodes.

**At the same time, if we are talking about the prediction of cracks and destruction, this disadvantage becomes an advantage.**

5.4.10. FEM is fundamentally inapplicable for solving problems of the stability of slopes, inclinations, and the like, if the stability coefficient is less than or equal to one.

At the same time, if we are talking about the prediction of cracks and destruction, this disadvantage becomes an advantage.

Next, let's focus on the most frequent mistakes that engineers make when using the finite element method while solving soil mechanics and geomechanics problems (Tables 1–4).

In order for our comments to be understandable and transparent, we considered the problem of determining the stress in a square plate with dimensions of 10x10 meters and a thickness of 1.0 meter with the following initial data:

1. The modulus of elasticity of the plate material is  $E=2000$  t/sq.m.
2. The Poisson's ratio of the plate is  $\nu=0.3$ .
3. A vertical force equal to 100 tons is applied to the upper face of the plate.

Five calculations were performed.

1. In the first case, ties were imposed on the sole and two sides of the calculation area, prohibiting movement in the vertical (axis  $Oz$ ) and horizontal ( $Ox$ ) directions. At the same time, the calculation area was divided into square finite elements with dimensions of 1.0x1.0 m.

The results of these calculations are given in the first columns of Tables 1, 2, 3, and 4.

2. In the second case, ties were imposed on the sole and two sides of the calculation area, prohibiting movement in the vertical ( $Oz$  axis) and horizontal ( $Ox$ ) directions. At the same time, the calculation domain was divided into finite elements in the form of right triangles with legs equal to 1.0 m and a diagonal equal to  $\sqrt{2}$ . Moreover, the finite elements were oriented in the opposite direction – symmetrically relative to the vertical passing through the point of application of the force.

The results of these calculations are given in the second column of Table 1.

3. In the third case, ties were imposed on the sole and two sides of the calculation area, prohibiting movement in the vertical (axis  $Oz$ ) and horizontal ( $Ox$ ) directions. At the same time, the calculation area was divided into square finite elements with side dimensions of 0.1x1.0 m and 1.0x1.9 m. The location of these finite elements and the results of the calculations are given in the second column of Table 2.

4. In the fourth case, ties were imposed on the sole and two sides of the calculation area, prohibiting movement in the vertical (axis  $Oz$ ) and horizontal ( $Ox$ ) directions. At the same time, the calculation area was divided into finite elements in the form of rectangles with dimensions of 0.4x1 m, and the total height of the calculation area was reduced from 10 to 4 meters (i.e., 2.5 times).

The results of these calculations are given in the second column of Table 3.

5. In the fifth case, ties were imposed on the sole of the calculation area, prohibiting movements in the vertical (axis Oz) and horizontal (Ox) direction. There are no connections on both sides. At the same time, the calculation area was divided into square finite elements with dimensions of 1.0x1.0 m.

The results of these calculations are given in the first columns of Table 4.

The data presented in Tables 1–4 allowed us to draw the following conclusions:

1. As a result of the replacement of rectangular finite elements with triangular ones, a significant distortion of the stress isofields occurred. At the same time, the stresses given in column 2 of Table 1 differ from the reference stresses (column 1 of Table 1) by 1.1–2.6 times.

2. As a result of replacing equilateral rectangular finite elements with non-equilateral finite elements, a significant distortion of tension isofields occurred. At the same time, the stresses given in column 2 of Table 2 differ from the reference stresses (column 1 of Table 2) by 1.06–4.35 times.

3. As a result of the decrease in the height of the calculation area, there was a significant distortion of the stress isofields. At the same time, the stresses given in column 2 of Table 3 differ from the reference stresses (column 1 of Table 3) by 1.05–3.1 times.

4. As a result of the removal of connections on the sides of the calculation area, a significant distortion of the stress isofields occurred. At the same time, the stresses

Table 1.

Dependence of stress distribution on the shape and location of the finite elements

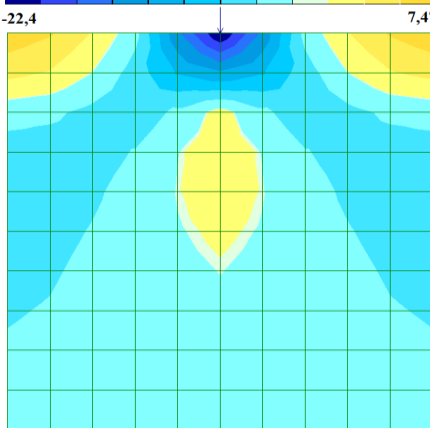
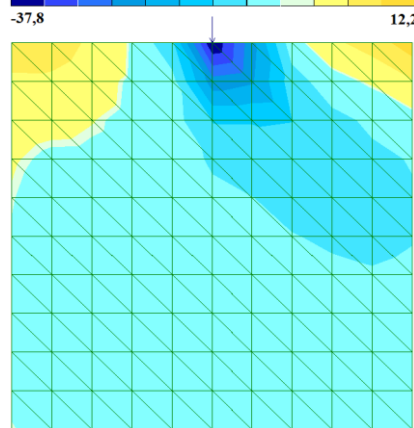
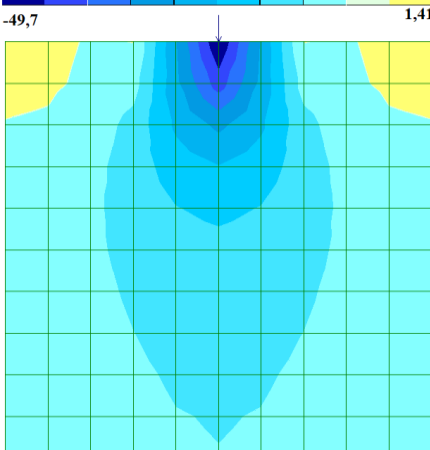
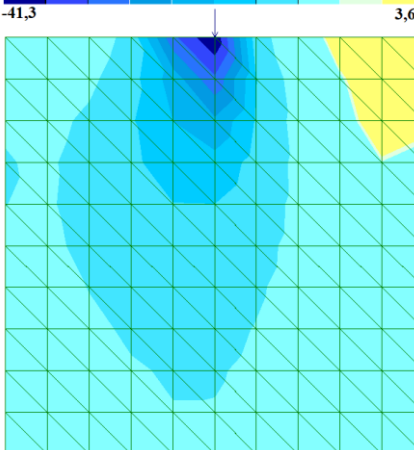
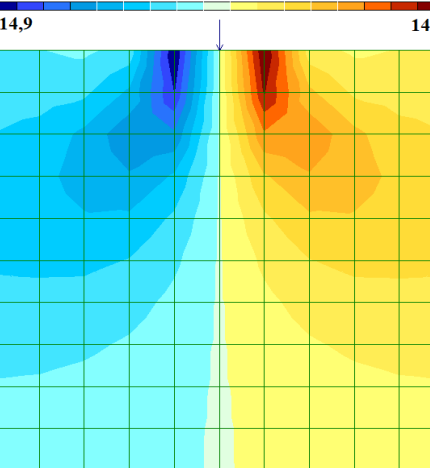
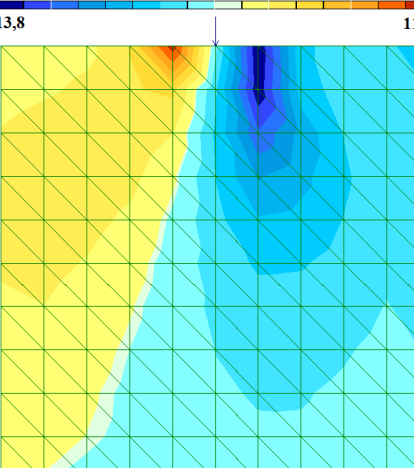
Splitting into rectangular elements (reference)	Splitting into triangular elements	Notes
1	2	3
		<p>Horizontal stresses <math>\sigma_x</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 1.63–1.69</p>
		<p>Vertical stresses <math>\sigma_z</math>. The results in columns 1 and 2 differ by 1.2–2.6 times</p>
		<p>Tangential stresses <math>\tau_{xz}</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 1.1–1.3</p>

Table 2.

Dependence of stress distribution on the ratio between the sides of the finite elements

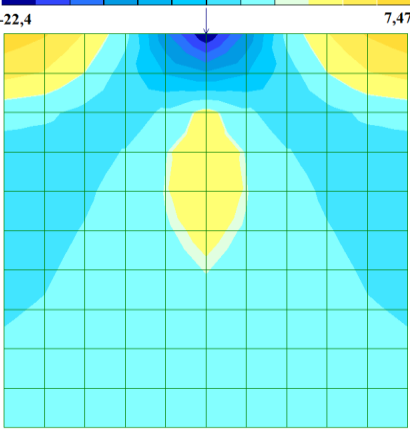
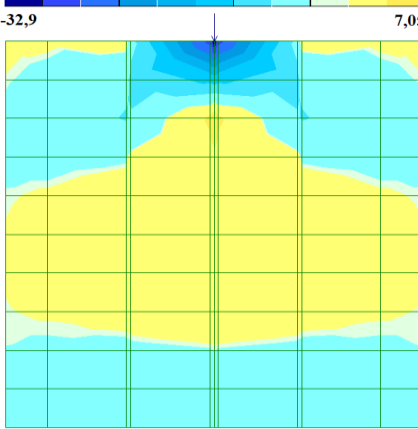
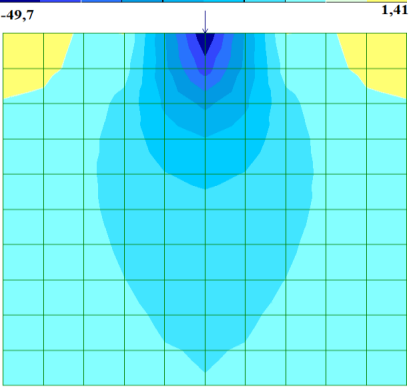
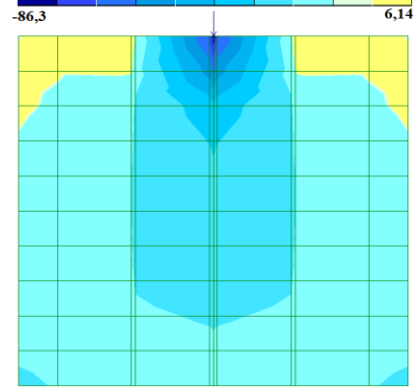
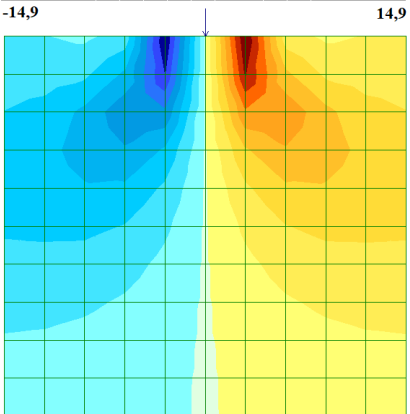
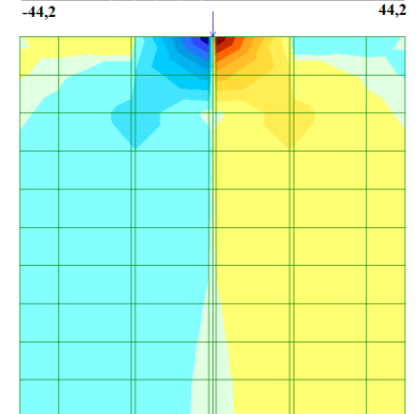
Splitting into equilateral rectangular elements (reference)	Splitting into rectangular elements with different aspect ratios (1:19 horizontal)	Notes
1	2	3
		<p>Horizontal stresses <math>\sigma_x</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 1.06–1.47</p>
		<p>Vertical stresses <math>\sigma_z</math>. The results in columns 1 and 2 differ by 1.74–4.35 times</p>
		<p>Tangential stresses <math>\tau_{xz}</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 2.99</p>



Table 3.

Dependence of stress distribution on the dimensions of calculation area

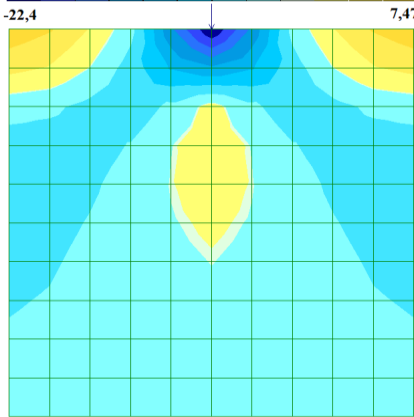
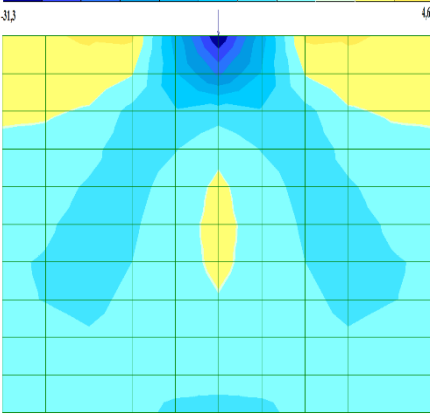
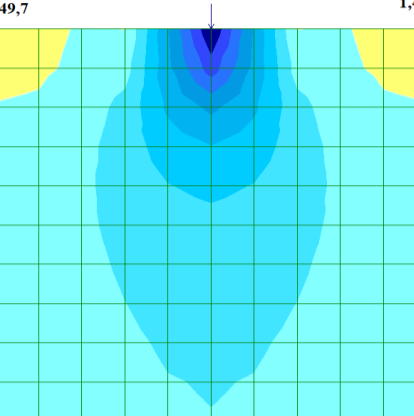
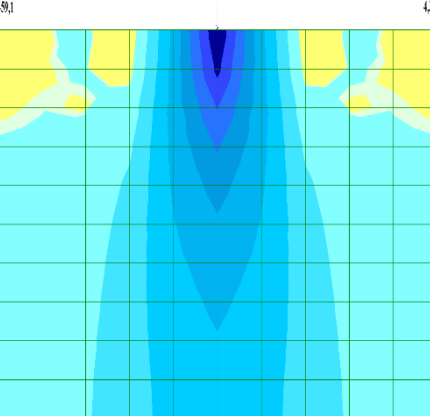
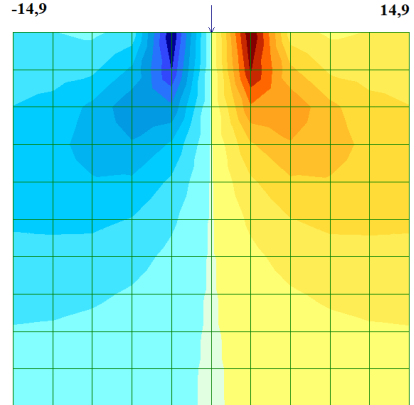
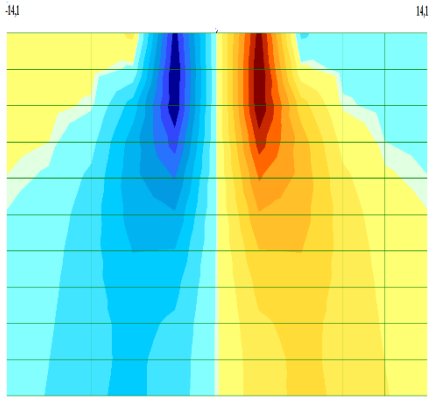
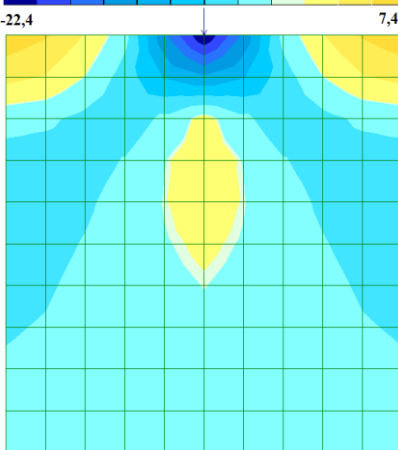
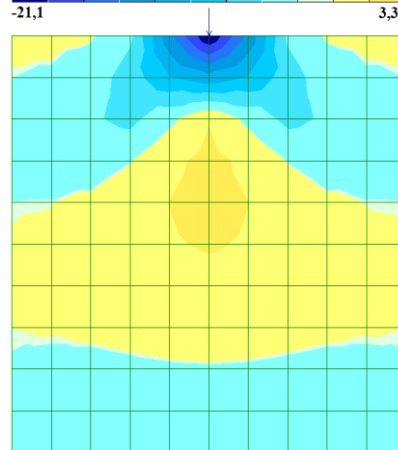
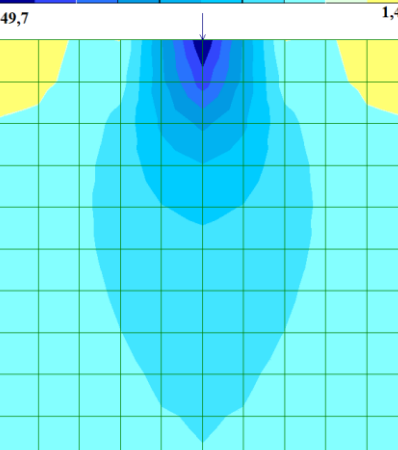
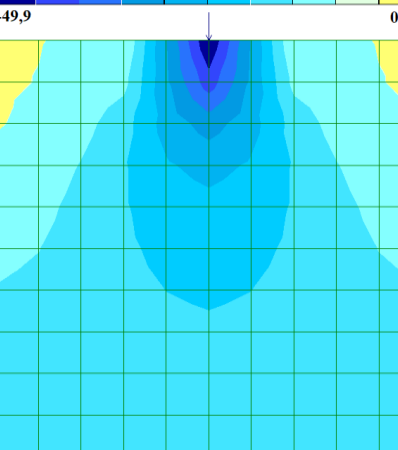
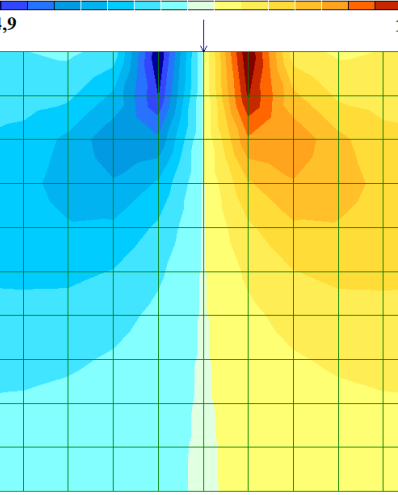
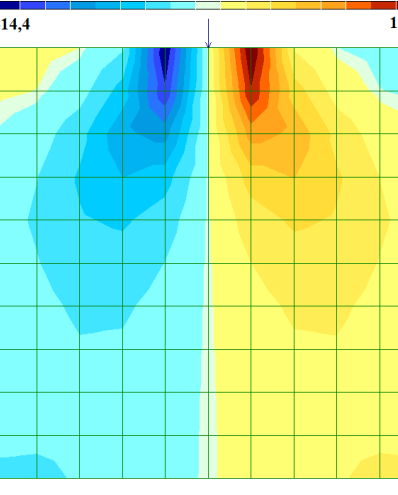
Splitting into rectangular elements (reference)	Splitting into rectangular elements. The height of the calculated area has been reduced by 2.5 times	Notes
1	2	3
		<p>Horizontal normal stresses <math>\sigma_x</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 1.40–1.62</p>
		<p>Vertical normal stresses <math>\sigma_z</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 1.20–3.10</p>
		<p>Tangential stresses <math>\tau_{xz}</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 1.05</p>

Table 4.

Dependence of stress distribution on anchoring conditions at the border of the calculation area

Splitting into rectangular elements (reference)	There are no fasteners on the sides of the calculation area	Notes
1	2	3
		<p>Horizontal normal stresses <math>\sigma_x</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 1.06–2.25</p>
		<p>Vertical normal stresses <math>\sigma_z</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 1.10–3.05</p>
		<p>Tangential stresses <math>\tau_{xz}</math>. The results in columns 1 and 2 differ by a factor of 1.05</p>

given in column 2 of Table 1 differ from the reference stresses (column 1 of Table 1) by 1.05–3.05 times.

These data are an illustration of the following basic rules that must be observed when performing calculations using the finite element method technique:

1. The dimensions, shape, aspect ratio of the finite elements, conditions at the boundary of the computational domain and its dimensions should be controlled.

2. To obtain adequate results, the results obtained using the finite element technique should be compared with exact data or with data obtained using the semi-empirical methods set out in SCN.

3. If the requirements set out in paragraph 2 are not feasible, it is necessary to perform several parallel calculations of the same problem using different software packages, sizes, and configurations of finite elements, etc. (according to the requirements of the Ukrainian State Construction Standards, these requirements must be met when designing high-rise buildings).

4. When using one or another computer package intended for calculations applying the finite element method technique, one should definitely familiarize oneself with the requirements set out in them for the size, shape, aspect ratio of the finite elements, conditions at the boundary of the computational domain and its dimensions.

The above fully applies to other numerical methods of soil mechanics and geomechanics in general.

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.2.6

## 2.6 Combination of architectural and constructive solutions when creating a multifunctional complex as an example of a real competition project in Ukraine

In the modern city, where space is the most valuable resource, multifunctional buildings become the center of innovation and functionality. These structures embody modern approaches to design, integrating various functions and spaces for communication and interaction. They embody not only the technical complexity of construction but also a high level of architectural skill, creating unique objects that influence the life and image of the city.

Several examples of world experience were considered for the analysis of multifunctional buildings in the world

**Multi-generational community center Excelsior Springs Community Center / SFS Architecture.** This facility is located in Excelsior Springs, Missouri. It is an example of how modern buildings can become a center of active life for a community, as well as a reflection of advanced technology and design. Construction was completed in 2016, and the area of the complex is 4,650 m<sup>2</sup>. Each building system and activity zone is highlighted with a characteristic color as shown in Figure 2. In addition to providing a bright and dynamic environment, colors also serve as important landmarks within the facility.



Figure 1. Exterior of Community Center

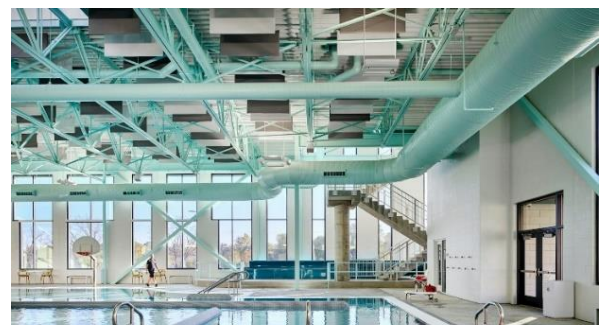


Figure 2. Interior of the pool area



Figure 3. Exterior of Shopping center

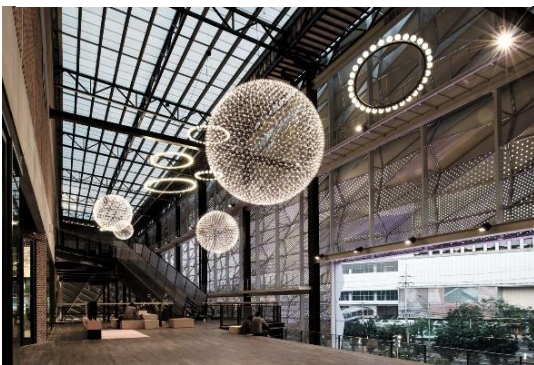


Figure 4. Interior of Shopping center

**Shopping center The Street Ratchada / Architectkidd.** This property is located in Bangkok, Thailand. Construction was completed in 2016, and the area of the entire complex is 42,000 m<sup>2</sup>. Consisting of cafes, restaurants, and other retail and commercial functions, The Street Ratchada, comprising cafes, restaurants, and other retail and commercial functions, creates new outdoor and semi-indoor urban spaces for interaction with the surrounding people and community. The interior design offers a variety of spaces to cater to young people, while the design approach strips away most surface finishes and decorations, revealing the steel, concrete, and brick structural elements.

The building facade is intended to connect the open plaza with the interior retail spaces. At first glance, the uninterrupted metallic surface appears to exude a sense of monumentality, but it is a porous layer made up of triangulated panels that are uniquely sized and cut, giving it a dynamic and intricate appearance. The gradient transparencies of the perforated panels unveil the underlying framework and the atrium behind which serves as an intermediate public space, which can be seen in Figure 4. At night, the lighting transforms the facade, making it appear less solid and creating a welcoming glow that emanates from the atrium and extends to the outdoor and public areas.

**Rehabilitation Centre Groot Klimmendaal / Koen van Velsen** The project is located in the forest outside Arnhem, the Netherlands. Construction was completed in 2011 and the area of the entire complex is 14,000 m<sup>2</sup>. The rehabilitation center “Groot Klimmendaal’ is a coming together of both complexity and simplicity with attention to



Figure 5. Exterior of rehabilitation center

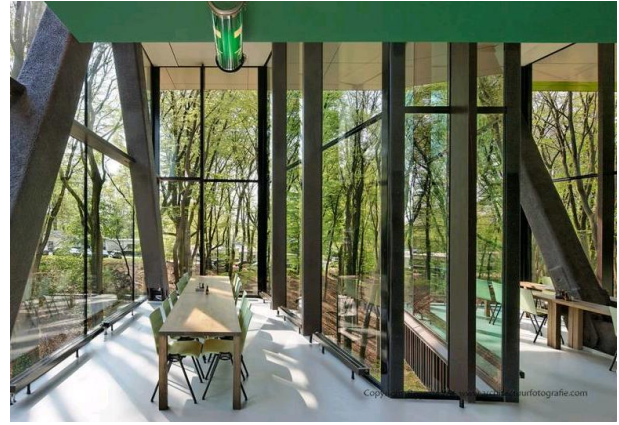


Figure 6. Interior of rehabilitation center

physical, practical, and social details. Transparency, continuity, layering, diversity, the play of light and shadow, and the experience of nature are all ingredients of this stimulating environment.

The arrangement of the program is clear. Below are offices, above is the clinical area, and on the roof is a Ronald McDonald House with its distinct identity. The double-height ground floor at the entrance level accommodates special program elements such as a sports facility, fitness center, swimming pool, restaurant, and theater. These facilities are not only used by patients but also by their family members and members of the local community, including schools and theater groups, on a regular basis. This arrangement places both the patient and the building at the heart of the community.

**The idea of the developed competition project** is to create a multifunctional complex, the shape of which will preserve the existing natural environment of the area in which the design is being carried out. It is expected to use rolled metal as the main structural element, as well as modern materials for facades and roofs from local manufacturers.

The construction of metal structures is one of the important branches of the construction industry in Ukraine. This construction method allows you to create reliable and functional structures for various industries, from industrial complexes to residential buildings.



Figure 7. General view of the building

The construction of metal structures has numerous advantages. First, it is the speed of construction, as metal structures can be manufactured in advance and quickly assembled on-site. They also have high reliability and resistance to various weather conditions. Metal structures are light, which facilitates transportation and installation. In addition, they open up many design possibilities and allow the creation of modern and aesthetically attractive buildings. Metal constructions allow you to create large and open spaces for holding various events and activities, so they are used to construct sports arenas, stadiums, concert halls, and other entertainment facilities.

Guided by the idea of preserving local trees, we placed the main buildings of the complex at a distance from each other but provided a connection through a gallery between them. Such a decision made it possible to provide the buildings with high-quality insulation, and also from their windows there are wonderful views of the surrounding area. The main view of the building can be seen in Figure 7.

The complex consists of three buildings: 1) "residential and treatment" – a building with single and double wards for patients, which also includes doctors' offices; 2) Dining room; 3) physical and water training. The buildings are connected by a ring hallway with an arcade. At any time from the transition, going out into the inner yard is possible. An additional hallway arcade feature was also built in, offering different

tactile surfaces so that people learning to walk with prostheses could practice walking at any time.

The spatial rigidity of steel frames is provided by frame structures, as well as discs with overlapping and coating. In the frames, the connection of the crossbar with the column is rigid, and vertical ties are installed from the plane of the frame.

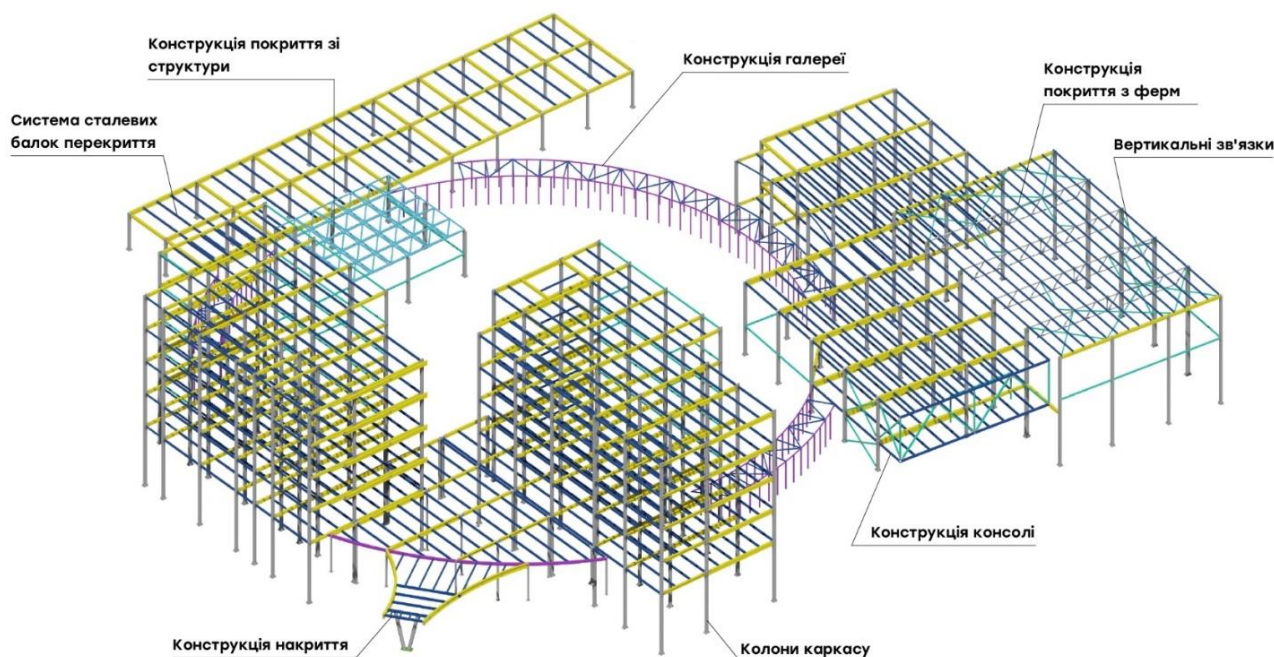


Figure 8. Diagram of the building frame

The connection of the columns with the foundations is rigid. The floors are monolithic on the profiled flooring, which is fixed to the steel beams of the floor. The cantilever section is solved using connections and trusses.

The long-span covering over the pool is solved by a system of flat trusses, purlins, struts, and ties. The covering over the dining room was decided using a steel spatial structural design, which allowed to reduce of the height of the covering structure and added architectural expressiveness. You can consider the application of various constructive solutions in more detail in Figure 8.



Several products from the Ruukki Construction, Ruukki Primo Skyline 150 (RR20) and Ruukki Primo Plana 10 with perforation (Light gray 7035) were used for the design of facades. Their double curved edges ensure greater strength of the facade. The advantages of SP2D W230 sandwich panels for the walls and SPC W190/150 sandwich panels for the roof were also used.

SP2D W ENERGY is a sandwich panel of increased energy efficiency with mineral wool filling and a lock with hidden fastening. Sandwich panels with increased energy efficiency help to reduce the energy consumption of the building by up to -20% compared to traditional sandwich panels. Energy-saving sandwich panels of the ENERGY series minimize energy losses of the building through the joints and the surface of the product due to the presence of a tubular seal in the locks and special sealing of the panel joints.

We used the Design Venice S10 (RR40) design profile for the facades of the production premises of the food building

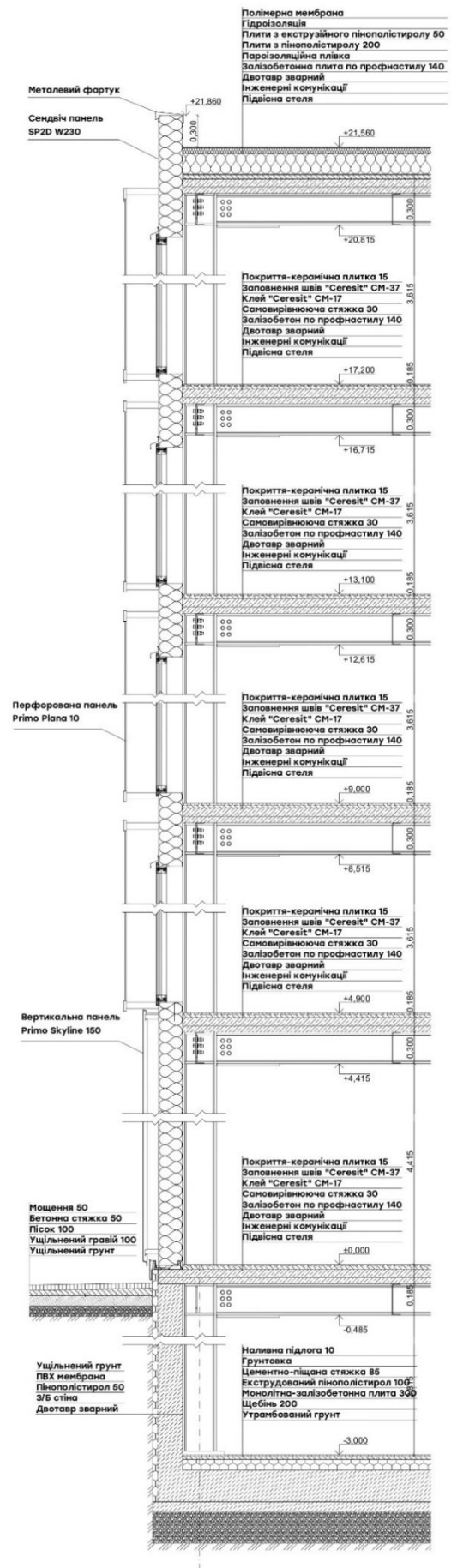


Figure 9. Detailed section along the wall



Figure 10. Interior of the pool area

A separate block of the building is allocated for the treatment pool, due to the different temperature and humidity levels of this room. Hydromassage baths are also located in this space, with the expectation of constant supervision of the patient by a medical worker during their use.

The main pool is a rectangular recess with cutouts for stairs and a ramp. To comply with the terms of the design task, a ramp for the disabled is located next to the main stairs of the pool (descent into the water is carried out using an automated platform and a wheelchair of various types and parameters), and mechanical manipulators with a seat for direct descent of the patient into the water. By configuration, the pool consists of three swimming lanes and a pre-considered turning area at the ramp, which is calculated concerning the standard dimensions.

To cover the span of 20 m above the pool room, a roof structure was designed on flat single-span trusses supported by columns. The node supporting the truss on the column is shown in Figure 11. Purlins, vertical ties, and struts were added to ensure system rigidity. Due to the technical requirements, this flat truss consists of two parts of 10 m each, so a truss connection node was designed, which is shown in Figure 12.

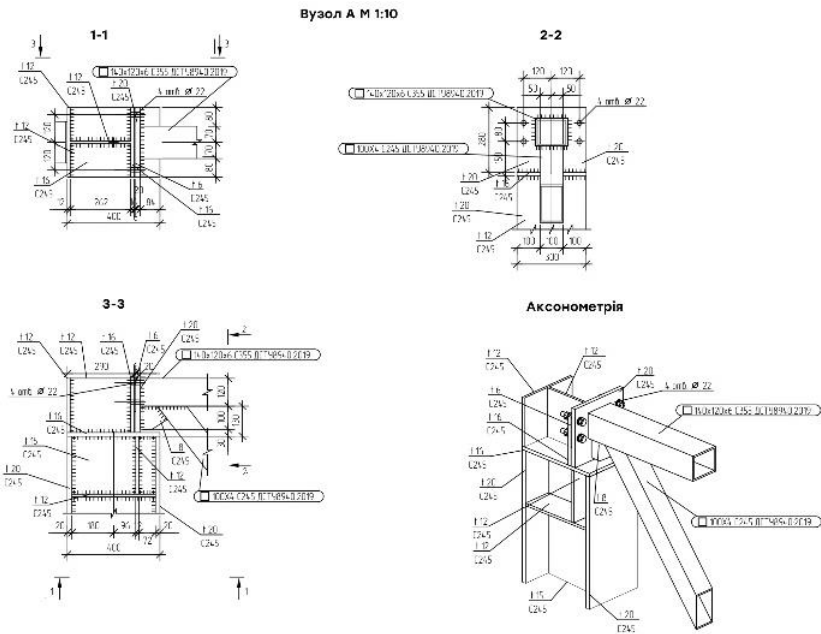


Figure 11. The support node of the truss on the column

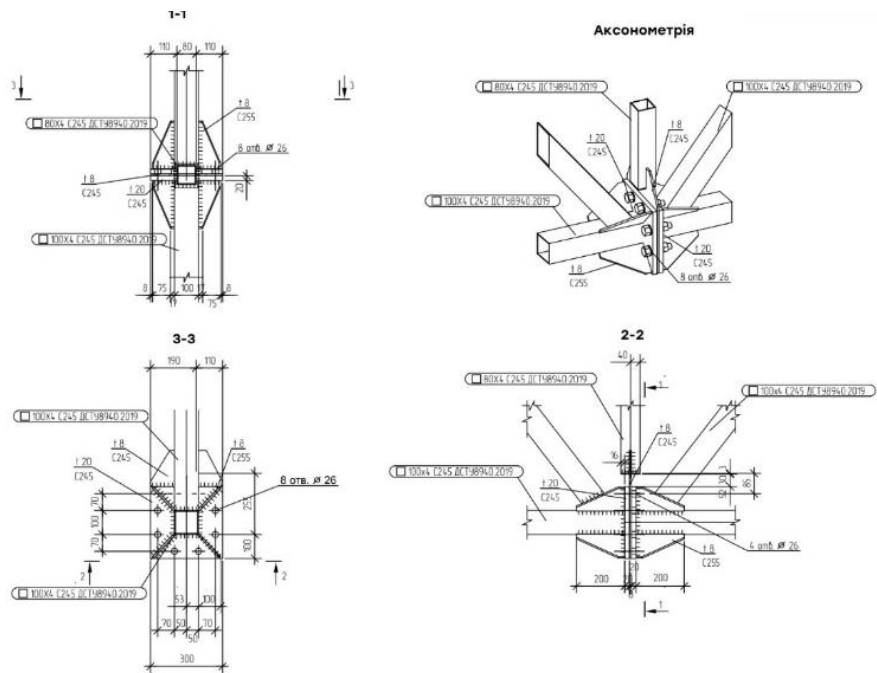


Figure 12. Truss connection node

**Conclusion:** the use of a frame system made of metal structures and sandwich panels for facades and roofs is a trend in modern architecture for the construction of multifunctional buildings, which opens up many possibilities in the creation of innovative and functional spaces. These technologies allow efficient use of space,

ensuring the stability and safety of the structure, and also pave the way for creative architectural solutions.

Steel structures allow for the creation of buildings with long spans, making them ideal for many types of structures, from large commercial centers to sports arenas and cultural facilities. Sandwich panels for facades and roofs add to these elements of speed and efficiency in construction, reducing construction time and costs. In addition, the use of these technologies helps to reduce the impact on the environment, as they allow efficient use of materials and energy, and reduce the amount of waste during construction.

The creation of such a structure takes place in a very short time, which leads to the increasing relevance and popularity of this method of building construction, therefore the use of such technologies is not only technically justified, but it also has great potential for the creative development of architecture and the improvement of the quality of construction projects in Ukraine and the world.

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.2.7

## **2.7 Project of rehabilitation center for military servicemen and war veterans in Zhytomyr, which takes first place in the "Steel Freedom" architectural competition**

The consequences of warfare, especially the mental and physical trauma suffered by military personnel and veterans, require urgent physical and psychosocial rehabilitation. Ukraine, a country that has long fought and continues to fight for its independence, has witnessed the sacrifice of its military, who have given their lives defending its territorial integrity. The demand for such specialized rehabilitation centers with experience in working with military personnel and veterans is very important in today's environment.

Our journey began with a shared desire among our team of architects to use our skills not only for aesthetic or functional purposes, but also as tools for positive social change. Inspired by the potential impact of our discipline, we looked for opportunities to channel our creativity into projects that could make a tangible difference in the lives of people and communities. The competition to create a rehabilitation center for military personnel and veterans in Ukraine was the perfect platform to combine our passion for architecture with a deeply rooted sense of social responsibility.

To analyze modern medical facilities, we can consider a number of projects from international experience.

### **1. Shenzhen Bao'an District Maternal and Child Health Hospital**

In a high-density urban environment and with complex technical requirements, designing a hospital building that will fulfill various types of functional tasks is a major challenge for architects.

The height of the surrounding buildings, noise around the projected building, and other aspects of the environment were analyzed. The project adopts a "compact triangular structure", with the medical technology department as the center, and arranges the outpatient department on the main city road with a large flow of people, and the inpatient department is separated from the main roads of the city and the main sources of noise.

The triangular layout not only ensures the best communication between the medical and technical building, inpatient department, and outpatient department, which significantly reduces the time of medical care but also provides the shortest distance between the emergency department and the inpatient, medical, and technical building.

This project includes skylights that transmit sunlight and atriums for visual communication (Figure 1). The project uses several distributed landscape systems, such as courtyard landscaping, roof landscaping, and landscaping of the building's entrance area, with great attention paid to natural vegetation and corridors connecting the buildings (Figure 2).



Figure 1. Hospital lobby



Figure 2. Corridors between hospital buildings

2. AZ Alma Hospital is a medical facility located in Eeklo, Belgium. It is known for its modern architecture that combines functionality with aesthetics (Figure 3). The 60,000 m<sup>2</sup> building was designed by AAPROG architecten and M4 architecten. The architects focused on the construction of the complex in terms of infrastructure, technology, inclusiveness, and living comfort.

The lobby of the hospital is an atrium with a glass roof as its accent. The roof solution was developed by Forzon. The structure has an area of 1400 m<sup>2</sup> and rises to a height of 25 m (Figure 4). The entire structure was equipped with double glazing and thermally broken profiles. The combination of steel structures, aluminum elements, glass, gutters, and waterproofing makes this project unique in its region.



Figure 3. Exterior of AZ Alma Hospital



Figure 4. Atrium roof structure

The glass atrium is not only an interesting architectural element of the building, it also lets in a lot of natural light (Figure 5). In places where there was no daylight, artificial adjustable lighting was used to adapt the color of the light to the time of day, improving the biorhythm of both staff and patients. Thoughtful lighting design has a positive effect on patient well-being, providing comfort and speeding up recovery.

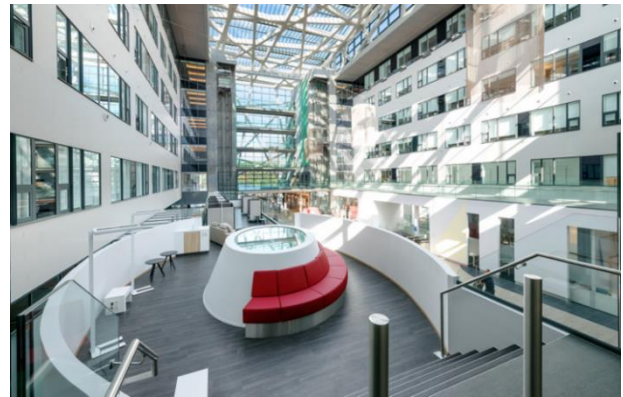


Figure 5. Hall interior

A rehabilitation center is a space that is maximally oriented towards people with limited mobility. Unlike other types of buildings, where architects can simply adapt their design to the needs of people with reduced mobility, a rehabilitation center requires inclusivity to be taken into account in all decisions from the very beginning of the design. Based on these judgments, when developing the concept, we set ourselves the main task of creating the most convenient and simple layout for the patients of our center (Figure 6).



Figure 6. Exterior of the rehabilitation center

The building's design began with the location of the main block with medical facilities and wards along the site, which provides a meridional orientation for maximum insolation of the living quarters. The idea of dividing the building into blocks was introduced to optimize functionality. Thus, the dining room and gymnasiums were separated into their own blocks, as their arrangement under the living areas is not efficient due to the large number of vertical utilities to serve patient rooms (Figure 7).

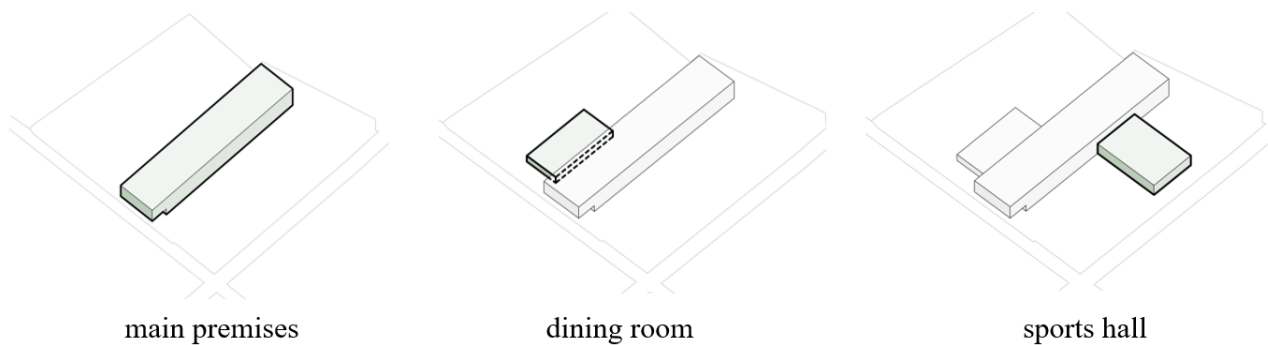


Figure 7. Organization of the main functional areas of the building

This concept made it possible to divide the site into four functional zones, taking into account their purpose. Thus, the representative zone is located on the view part of the site and will be the first to welcome visitors to the rehabilitation center.



The recreational area is organized in a quiet place surrounded by a park and separated from the road by the main block of the building. The sports area is located next to the sports block, and the utility area is next to the kitchen (Figure 8). This approach contributes to the efficient use of the territory and ensures a comfortable stay for residents.

The paths were designed taking into account the main routes of movement of the center's patients and visitors to the hydropark. A representative part of the site has a playground and a waiting area. The

recreational area is filled with a tactile path with different types of paving, a place to spend time with your family, a dining room terrace, and a place to grow greenery. The sports area has exercise equipment and a driving simulator for people with disabilities (Figure 9).

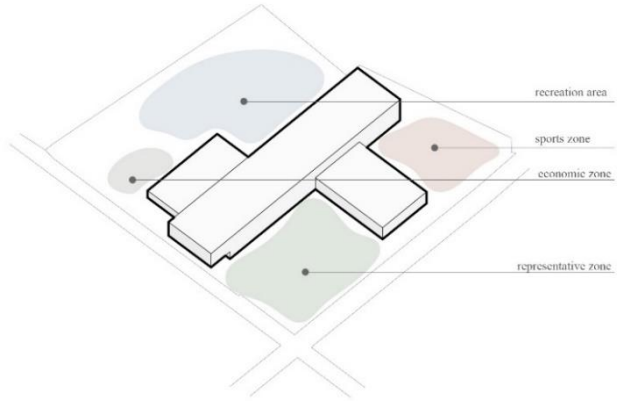


Figure 8. Functional zoning of the territory



Figure 9. General plan of the territory

The main principle in the design of the rehabilitation center was to reduce the length and complexity of the patient's movement paths. In the center of the building, there is a lobby with a reception, around which several blocks are formed. The lobby

is designed to separate the flow of outpatients and inpatients. The sequence of patients' visits to procedures and training sessions determines the location of medical and sports facilities next to each other. The view from the dining room opens onto a quiet part of the site. The location of the staff and administration premises minimizes the need for patients to move around this block (Figure 10).



Figure 10. First floor plan



Figure 11. Second floor plan

Elevators in the lobby provide the fastest and most convenient access for inpatients to the dining room and rehabilitation facilities. This also helps to disperse the flow of outpatients and inpatients. Fire safety is ensured by a large number of evacuation exits from the building and the presence of smoke-free zones connected by vertical communications.

Residential wards are located on the 2nd, 3rd and 4th floors. Each floor has areas for patients to relax and communicate, and the 2nd and 3rd floors have open landscaped terraces. In addition to their recreational function, they also serve an aesthetic purpose (Figure 11).

Designer perforated profiles and cassettes were used for cladding the facades (Figures 12 and 13). The public spaces (lobby, gyms, dining room, and recreation areas) have panoramic glazing to unite the interior with the exterior. Panoramic windows with opening sections were chosen for the wards. Thanks to the perforation that hides the opening sections of the windows, it was possible to create a minimalist silhouette of the residential floors, provide a sense of privacy for patients and sufficient

insolation, while maintaining the ability to ventilate the rooms (Figure 14). In the sports block of the building, perforated profiles serve as sun protection.

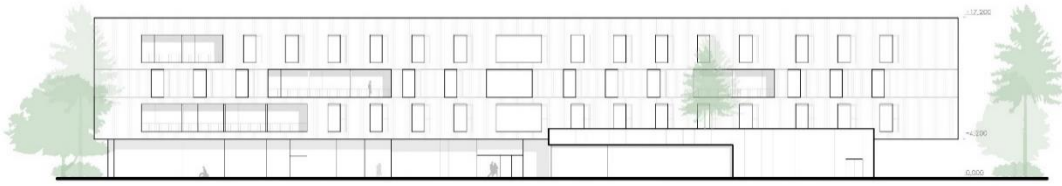


Figure 12. Front facade of the

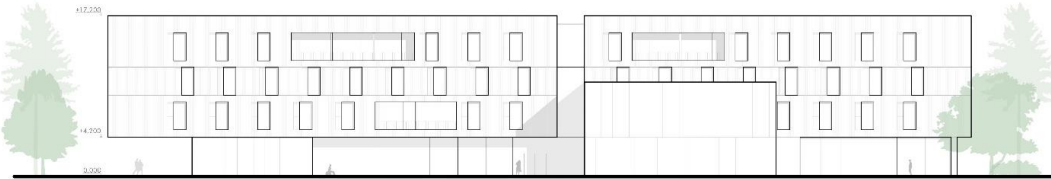


Figure 13. Rear facade of the

The side facade is accentuated by the open console design, which is the accent of the side facade. It has not only a functional but also an aesthetic function, making the volume recognizable.

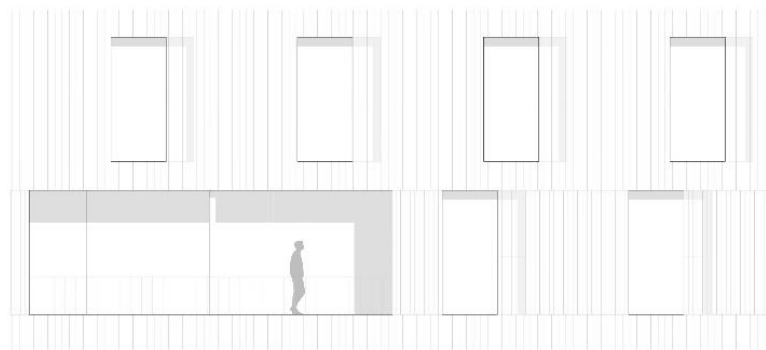


Figure 14. Fragment of a facade

The interior of the building uses light colors and natural materials for the psychological comfort of patients (Figure 15). Much attention is paid to the inclusiveness of the interior space. There are no obstacles to movement in the form of thresholds, improperly placed furniture, narrow doors and corridors, etc. The configuration and size of the furniture provide free use for people who use mobility aids. For example, in the dining room, a person in a wheelchair can independently use the serving line, all elements of which are located at a slightly lower height, and there are many places at the dining tables for people in wheelchairs.



Figure 15. Dining room interior

Inside the dining room, an atrium was designed to separate the distribution line from the food consumption area. This allows us to preserve a couple of trees on the hydropark site, as well as to ensure that people are surrounded by nature on three sides during the meal.

The structural structures used in the pool and dining room to cover a large span are at the same time aesthetically pleasing and enrich the interior design of the complex.

Conclusion:

In light of current challenges and needs, the creation of rehabilitation centers for military personnel and veterans is becoming an extremely important social mission. According to the views expressed, the infrastructure of such facilities should be inclusive, focused on functionality, and simplified access for people with reduced mobility. The design of these facilities requires careful consideration of every detail, from corridors to zoning, in order to optimize movement and ensure patient comfort. Ensuring the economic feasibility of the design is also an important aspect, contributing to the realization of the facility and preserving the country's resources. However, the most important thing is to create an atmosphere conducive to the psychological comfort of patients, where the rehabilitation process is intertwined with elements of normal life. This approach takes into account the needs of those seeking help to the fullest extent possible and contributes to the rapid and effective restoration of their health and social integration.

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.2.8

## 2.8 Creation of a social multifunctional complex as an example of a real competition project in Ukraine

Russia's aggression against Ukraine in 2014 and the full-scale invasion in 2022 failed precisely because of the resilience of Ukrainian society and the Ukrainian military in particular. However, difficult circumstances and military operations throughout the country left many physical and mental scars on the survivors. Thus, our state must provide victims with psychological and physical rehabilitation. It is precisely because of these circumstances that there is a need for the construction of modern rehabilitation centers that will not only deal with the physical health of patients, but also concentrate on their psychological state and assimilation into the post-war society.



Figure 1: exterior of the rehabilitation center



Figure 2: elevation the rehabilitation center

### Concept

This is what we used in the design of the rehabilitation center "Recovery Circle", trying to ensure a full cycle (circle) of recovery and reintegration of victims of military operations into society. In this rehabilitation center, patients will be able to engage in physical and therapeutic exercises in the pool and gym, as well as receive psychological

help from specialists. The project also provides rooms for prosthetics and working with prostheses, massage and hydromassage rooms, a bathhouse, and others. Our project consists of 3 main buildings connected by a circular gallery on the first floor, thus we separate the three main functions of living / dining / sports on the site, providing good insulation to each of the buildings. The gallery connecting the buildings also separates the surroundings from the inner courtyard, which gives patients a sense of security and safety.

In order to analyze the experience of designing rehabilitation centers, we considered some foreign projects.

### **Analogues**

#### **Center for People with Disabilities ASPAYM ÁVILA / amas4arquitectura**



Figure 3: exterior of the medical center

*Text description provided by the architects.* The ASPAYM Foundation, for disabled people, in its XXV anniversary, has decided to build this small center near Ávila (Spain). The program turns around the rehab space, which is an extension of the hall. These areas are polyvalent, because the absence of structure and the transparency of many partitions. All the corridors, bathrooms, furniture and rooms are for disabled people.

**St. Johns Rehab / Montgomery Sisam Architects + Farro w Partnership  
Architects**



Figure 4: exteriorof the rehabilitation center

*Text description provided by the architects.* This major addition and renovation to St. John’s Rehab Hospital takes full advantage of a remarkable site by reconnecting the major public spaces within the building to the surrounding natural landscape, which is part of the Toronto ravine system. The internal clinical environment has been transformed into a fresh, inviting space which will contribute to the patients’ rehabilitation and recovery. On entering the building, one sees directly through to the treed ravine edge, the hospital’s most precious asset.

**Medical Resort Bad Schallerbach / Architects Collective ZT-GmbH (AC)**



Figure 5: exteriorof the hospital

*Text description provided by the architects.* An inviting rehabilitation center highlighting maximum comfort and low operating costs are the result of a comprehensive renovation, modernization and extension of the healthcare facility Bad

Schallerbach by the Health Insurance Fund for Railway- Workers and Miners (VAEB). After a construction period of 20 month the new center combines medical care facilities in a spa like setting and sets new standards in energy efficiency and healthcare.

### **The master plan**

The master plan of the territory is planned in such a way as to preserve the existing greenery on the territory as much as possible and provide insolation to all buildings. The yard is divided into five main zones

1. City square - the area between the canteen building and the residential block. Formed in such a way as to resemble an ordinary city square, with a cafe terrace, benches and passers-by.

2. The garden is the territory between the city square and one of the residential blocks. Designated for cultivation and care of fruit and plants, as one of the elements and methods of rehabilitation.

3. Free playground - the territory on the other side of the city square that is close to the sports block. It is designed for joint outdoor activities, picnics, ball games and watching movies on the wall of the sports block.

4. Forest - the zone with the largest number of preserved trees. It is located between the food and sports and residential blocks. Suitable for spending time alone surrounded by nature.

5. Surroundings - all other territory outside the gallery, provides guest parking, a sports field and additional landscaping.



Figure 6: project masterplan



## Planning decisions of the project

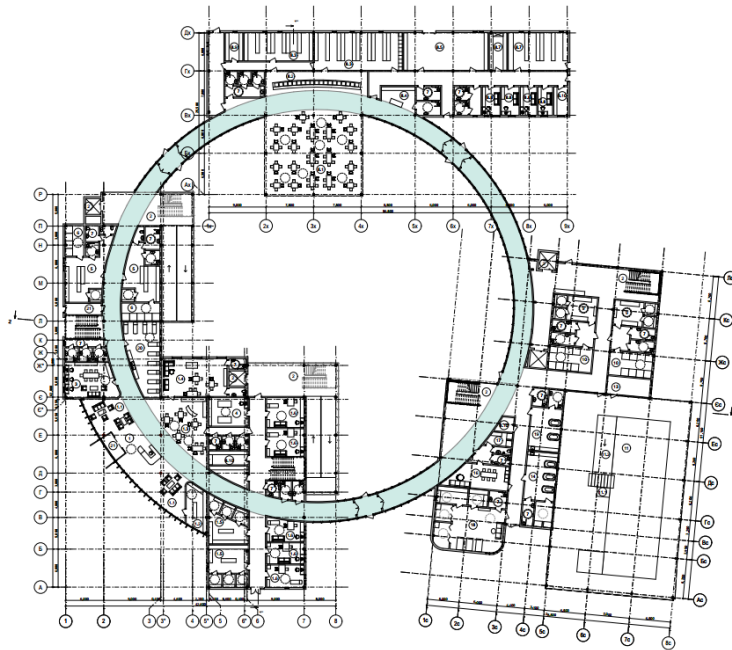


Figure 7: plan of the ground (first) floor

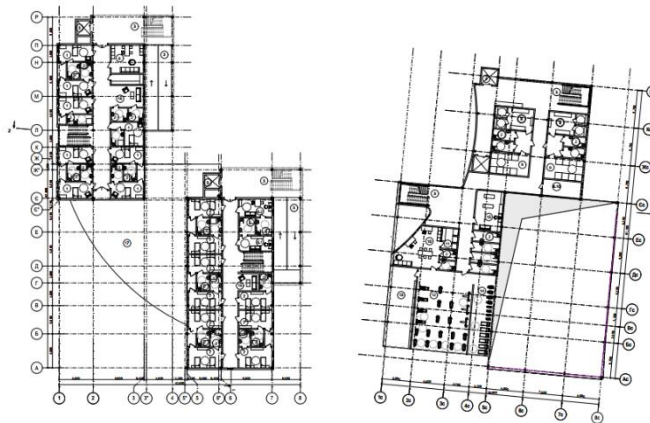


Figure 8: plan of the second floor

The planning scheme, as mentioned earlier, is divided in three volumes on the site, which are connected by a gallery.

### **Residential building**

The residential building is located in the South-West of the site and includes single and double chambers for patients, a resident's room and doctors' offices, a lobby area with a children's room and a cafe for those waiting, premises for technical support and maintenance of the center, a room for rickets with prostheses and other offices for rehabilitation. The basis of the planning is a corridor scheme with common spaces that provide lighting for the corridor. Most of the chambers in the projects are two-bed to ensure the socialization of patients.

### **Food block**

The food block is located in the north of the site and is divided into a production area and a food consumption area. The dining room is formed by a large common space without columns (due to the metal system), which provides variety in the number of seats and the organization of the space. It is also possible to use the territory of the "city square" in the warm season. The second part of the block is the production area, which is equipped with the necessary procurement and storage facilities. The production area is adjacent to the boundaries of the plot, which facilitates the delivery of goods and the removal of waste.



Figure 9: exterior of the food block

### **Sports block**

The project of the sports block provides for the creation of a multifunctional swimming pool with sport and rehabilitation functions, a sports hall, which is divided into a cardio zone, a physical fitness zone and a strength exercise zone, a spa zone with hydromassage and mud baths and a bathhouse, and a sanitary and maintenance room.

The outer shadow wall of the changing rooms on the second floor of the sports block duplicates the rounded form of the gallery and forms a large white cinema screen for watching films, which is also part of the rehabilitation.



Figure 10: exterior of the sports block

## Gallery

The gallery is a common space - a corridor that connects all buildings on the first floor and separates the surroundings from the inner courtyard. The length of the circle is actually equal to the length of the running track around the football field (360m), and can serve as a walking route even in bad weather. The floor of the gallery is covered with different types of coverings: asphalt, poured floor, cobblestone, etc.; in order to ensure diversity in education, whether with a prosthesis or using a wheelchair.

Attention to patient and staff safety is also an important element of our design, which is why we have provided an underground shelter floor with additional exits and a special escape ramp that duplicates the smoke-free exterior escape stairs

## Interior



Figure 11: interior of the chamber

## **Chamber**

The chamber is the key room of the residential block of the premises of the rehabilitation center. Standardized rooms are mirrored to each other and share a common wall with bathrooms.

The patient's room is divided into several zones: an entrance zone, a sleeping zone, and a zone for family visits.

- Entrance zone The zone is a connecting space with the possibility of a full turning of the patient in a wheelchair, which connects the bathroom and other areas of the room together

- The sleeping area is designed with a bed placed on one side against the wall and a cantilever cabinet for the patient to place personal belongings, and with a dedicated space for the patient to move around the bed without hindrance. In these boards, it is suggested to use special hospital beds with the function of adjusting the inclination of the bed sections. The hospital bed has electric control, which allows you to smoothly and silently change the inclination of the back section, intermediate (knee) section and leg section.

- The area for family visits is located next to the windows of the ward and in this case is solved by arranged soft chairs for sitting.

The lighting of the ward is made in several layers, a source of indirect light with the ability to adjust the brightness is located along the edges of the ceiling. The second layer of lighting (point lamps) are located directly on the suspended elements of the ceiling (these lamps are located along the paths and they are also located around the bed for good all-round illumination of the patient's bed in a critical case).

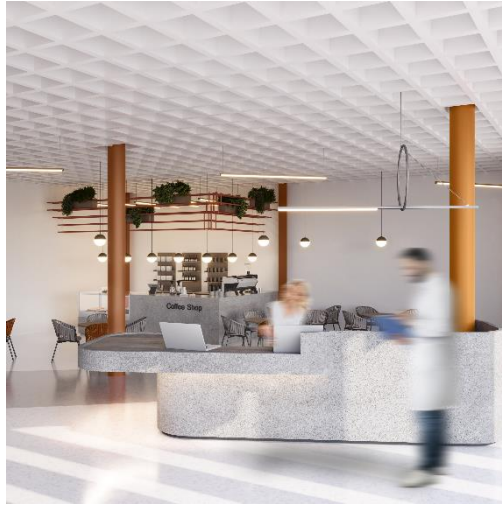


Figure 12: interior of the lobby

## Lobby

During the development of the lobby, the following principles were used:

- The color of the lobby should be bright, light, fresh and natural, dark, cold colors should be avoided if possible.
- The lobby should welcome visitors and encourage them to have warm associations when visiting this area, for this, bright and warm colors were used, namely white and orange.
- When entering the lobby, you must be able to easily identify all areas of the lobby special check-in desk.
- Inclusion and barrier-free provisions were taken into account during the design of the lobby, so that the population with reduced mobility feels equally comfortable.
- The path to the rehabilitation premises is marked with a different surface, the total width of the passage is 2.6 m.

Structural elements of the ceiling are hidden by suspended structures into which spotlights are mounted, visible vertical structural elements are covered in orange color.

The lighting of the lobby is carried out zonally, the rest, registration and cafe areas have individual lighting with the help of pendant and track lights.

The floor covering is made of a liquid material with a Terrazzo texture, its advantages are a beautiful appearance, a durable and easy-to-install coating, the absence of sliding properties, which is extremely important in this type of institution.

**Conclusion:**

Summarizing the material of the article, it is important to note that considering the realities in which we find ourselves, it is important to understand the value of rehabilitation centers. They should be not just complexes of physical recovery, but also a way to improve the psychological state of people, their well-being and reintegration into society. Ukraine should become the most developed country in the world in the field of rehabilitation of both civilians and military, and it is we who should implement new functions of these centers and experiment with their filling. When designing such objects, the psychological state of a person should be put first in order to ensure the highest possible rehabilitation of people.

## **2.9 The combination of architectural and structural solutions in the project of the rehabilitation center, which was awarded 1st place at the architectural competition “Steel Freedom”**

As is generally acknowledged that metal structures, due to their high reliability, industrialization, the ability to provide architectural expressiveness, the isotropy of the material itself, and invulnerability to various factors, occupy a prominent place in the field of construction and mechanical engineering. Considering the above and the requirements for the student project set out by the organizer of the competition “Steel Freedom” [187] – Asotsiatsiia “Ukrainskyi Tsentri Stalevoho Budivnytstva” (Association “The Ukrainian Steel Construction Center”) [188], the R-240 team's project "Rehabilitation Center for Servicemen and War Veterans in the city of Zhytomyr" was developed using large-span steel structures.

During the work on the project, analogues related to rehabilitation and using long-span structures were analyzed. Let's consider some of them:

Unileão School Veterinary Hospital / Lins Arquitetos Associados [189]

The University Veterinary Hospital Unileão / Lins Arquitetos Associados is an institution created to train veterinary students under the guidance of professors and to provide medical care to animals. The hospital is designed to serve both small and large animals and has animal housing, laboratories, a surgical center, classrooms and administrative facilities. The main architectural and constructive solution of the project is a large roof, separated from the building, which provides shade and a comfortable microclimate. This roof is curved and provides ventilation by escaping hot air, and some areas are equipped with translucent polycarbonate sheets to take advantage of natural light. This roof is supported by long-span structures. Below is an image of this building (Figure 1). Here you can see the use of steel structures in the interior of the building.



Figure 1 – The interior of the Unileão School Veterinary Hospital

The Educan School for Dogs, Humans and Other Species / Eeestudio + Lys Villalba building was also considered [190]. The building is intended for animals, but trusses are used here, so it is considered in this context. The authors of the project paid a lot of attention to ecology, so the reuse of materials was widely used here, including long-span structures. Thanks to the materials and constructions, the building has a light and clean architecture (Figure 2).



Figure 2 – The interior of the Educan School for Dogs, Humans and Other Species

In the process of developing the architectural project of the rehabilitation center in Zhytomyr, the use of steel structures became a key point that determined the unique character and appearance of this rehabilitation center. The facade with a cantilever structure, extending to 9 meters, not only makes the building recognizable among others, but also significantly improves its appearance, giving a feeling of lightness and freedom (Figure 3).



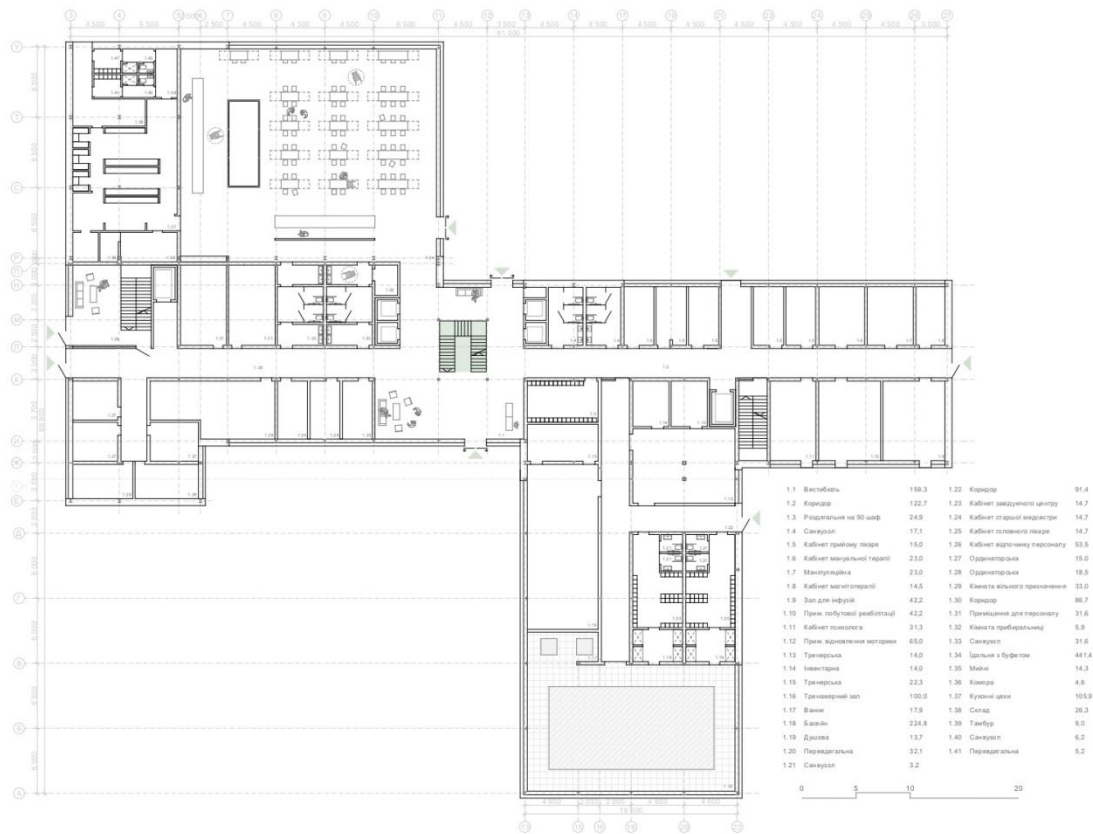


Figure 3 – The exterior of the projected building

The functional approach to the design of the rehabilitation center significantly influenced its architectural image and appearance. The use of steel structures with the possibility of extending 1nd-3th floors thanks to the cantilever made it possible to use the space effectively and increase the number of wards on one level. This made it possible to reduce the overall height of the building, while providing the necessary functionality and convenience for patients and staff. Reducing the overall height of the building is important for the integration of the object into the landscape and the surrounding environment. In addition, it made it possible to minimize the building area and optimize the use of the territory, which is important for creating a harmonious and aesthetic space.

The selection of the pitch of the columns was carried out taking into account the provision of comfortable proportions in all rooms, which provides comfortable and ergonomic conditions for users. This approach also contributes to the optimal use of space and provides effective work and rest conditions for all users of the center (Figure 4).

# TECHNICAL, AGRICULTURAL AND PHYSICAL SCIENCES AS THE MAIN SCIENCES OF HUMAN DEVELOPMENT



a



b

a – plan of the ground floor; b – plan of the 1st floor

Figure 4 – Planning diagrams

It was decided not to hide the structural elements, but on the contrary, to integrate them into the design of the facade in such a way that they become not only functional, but also aesthetically attractive elements. Thus, X-bracing, which ensure the stability of the cantilever, perform not only a technical role, but also become artistic accents, which are visible from the main viewing point (Figure 5).

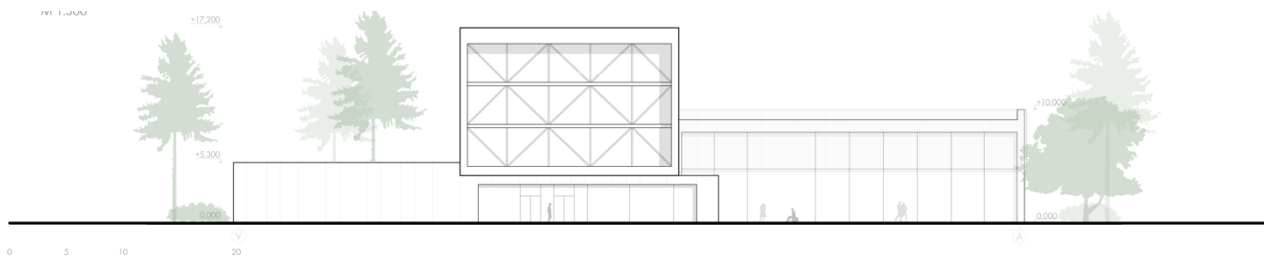


Figure 5 – Side elevation of the building

Structures used in the pool and dining room to provide large spans have not only practical importance, but also play an important role in interior design, adding to its aesthetic value and purity of forms. The section shows the use of trusses in the pool and other structural elements of the building (Figure 6).

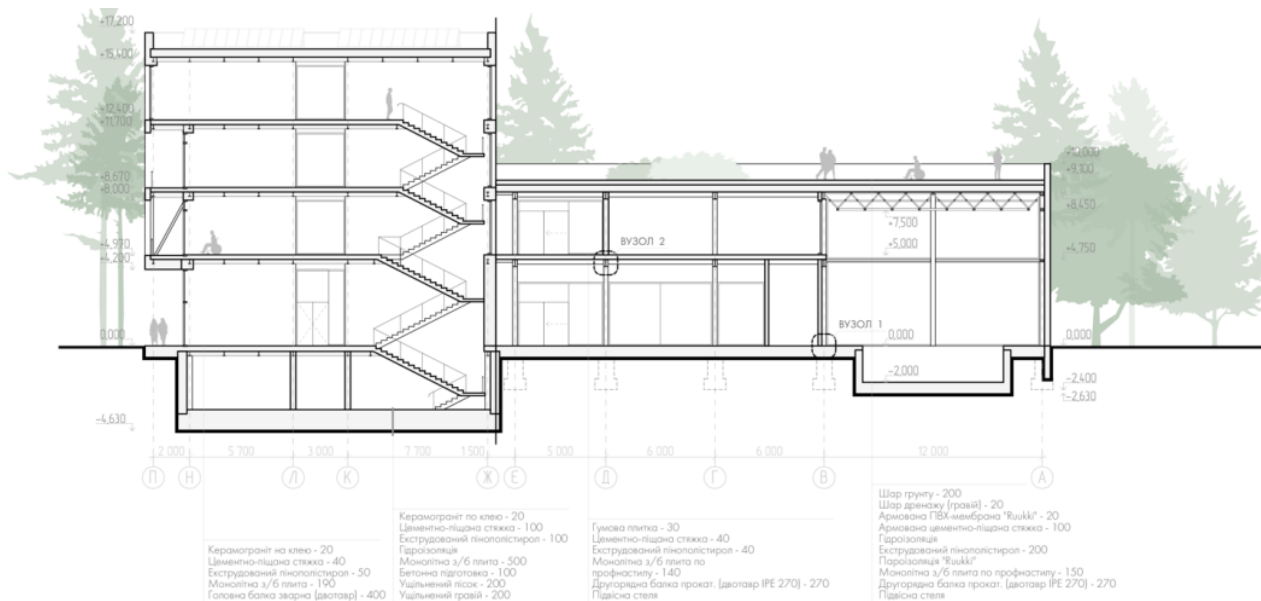
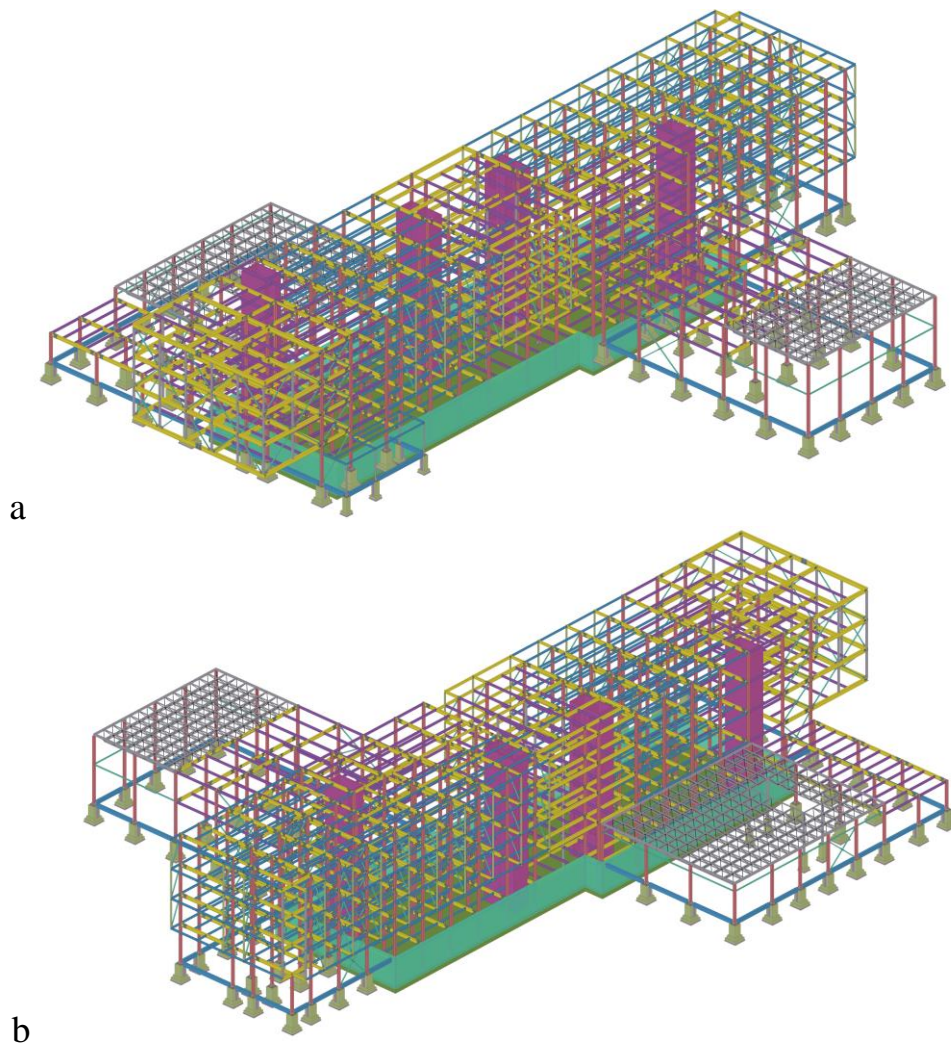


Figure 6 – Section of the building

The type of the structural steel system in projected rehabilitation center is a combination of moment or rigid frames and braced frames (Figure 7), where columns and beams create the main flat supporting units of the framework – frames itself (Figure 8).

Since the building is multifunctional, quite large in plan ( $91.5 \times 68.9$  m between grids) and has different heights of individual parts, so there is a possibility of significant deformation of the frame elements due to daily and annual temperature fluctuations and different temperature and humidity conditions of the premises. To avoid the appearance of uncontrolled adverse displacement and to delimit zones of different function, the building is divided by expansion joints [5, p. 101, cl. 17.2] into three blocks. Each block is an independent framework and is not connected to adjacent structures.



a – front view; b – rear view

Figure 7 – Structural model of the steel framework

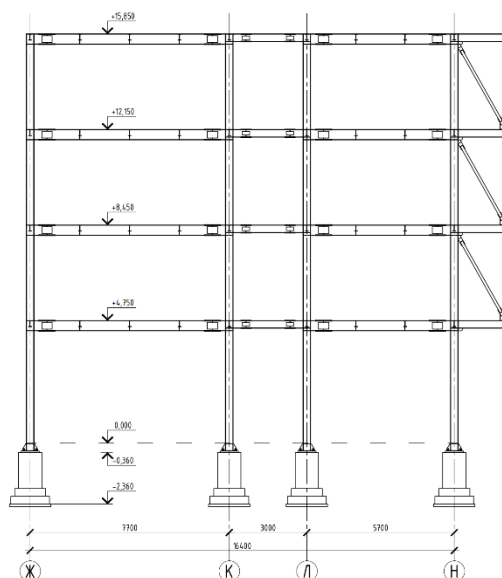
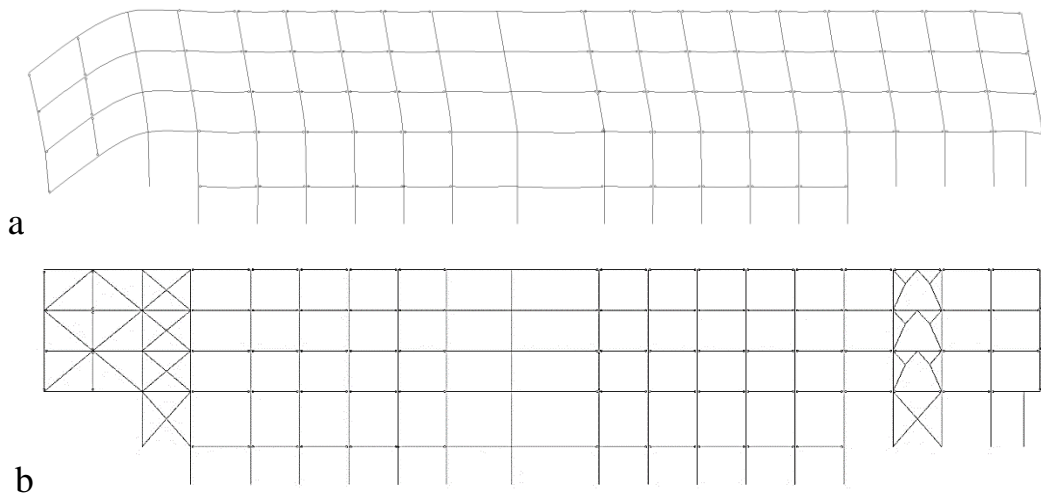


Figure 8 – Typical moment resisting frame on the right side of the main block

The rigidity and lateral stability of the framework in the transverse direction (in the plane of the frame) is ensured by the rigidity of the elements themselves and fully restrained (FR) moment beam-to-column connections.; in the longitudinal direction (perpendicular to the plane of the frame) it is provided by groups of vertical bracing. In addition, concrete elevator shaft-cores and concrete floor slabs on corrugated metal deck play a significant role in creating the framework's rigidity, preventing mutual displacement of vertical elements.

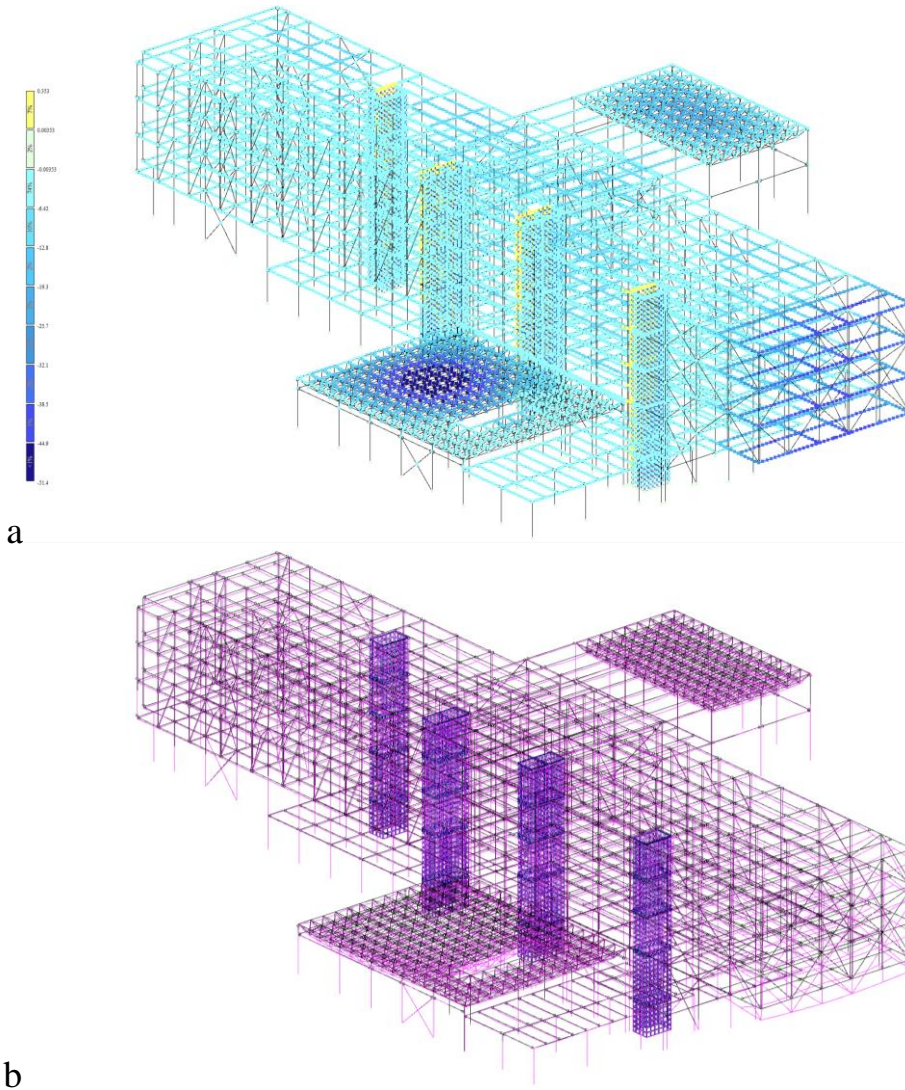
The bracing systems were designed separately for each temperature block of the building [5, p. 103, cl. 17.5]. The X-brace was used in the plane of the facades and the portal bracing in the passageways to preserve the functionality of the internal volume. The cross-section of the bracing is a square hollow section (SHS). The bracing ensures the correct operation of the framework (Figure 9), absorb horizontal forces and transmit them to the foundations

A distinctive feature of the frame is a spatial cantilever structure 9 m long. The high ratio between the strength and density of steel and the obtained permissible deflection values [6, p. 7, cl. 5] in the structural analysis and design software application (Figure 10) prove the feasibility of using steel structures and the practicality of realizing the concept. The structural 3D-model of the framework was created in Tekla Structures, and the structural analytical model was made in the Ukrainian CAE-software “LIRA-SAPR 2022”.



a - incorrect operation (no bracing); b - correct operation

Figure 9 – The framework's operation



a – mosaic of displacements of elements along the Z-axis;

b – initial and deformed schemes

Figure 10 – The structural analytical model

The pool and dining room covering structures are three-dimensional structural frameworks – space trusses based on pentahedra with a construction height of 1 m, which made it possible to cover large spans and give architectural expressiveness to the premises while maintaining their height. This design discretely distributes internal forces within the system and transfers them to the supports. The force applied to any node of the structure first causes internal forces in the elements adjacent to this node, and then the spatial response of the entire system, which resembles the response of a continuous medium. When the structure is loaded the distribution of the potential energy of deformation in the places of occurrence of the greatest tensile forces is close to uniform, which is another advantage of such structures [193].

Unfortunately, Ukrainian enterprises are currently unable to produce the full range of rolled sections that were manufactured at the steel mills destroyed by Russia. Given this challenge of the present day, it was applied welded composite sections and profiles available in Ukraine, including imported ones from the European Union countries.

In accordance with the requirements of the competition project, the building's characteristic joints were developed in detail:

1. Fully restrained (FR) moment connection with pre-welded bracket on the column and high-strength bolts (Figure 11).

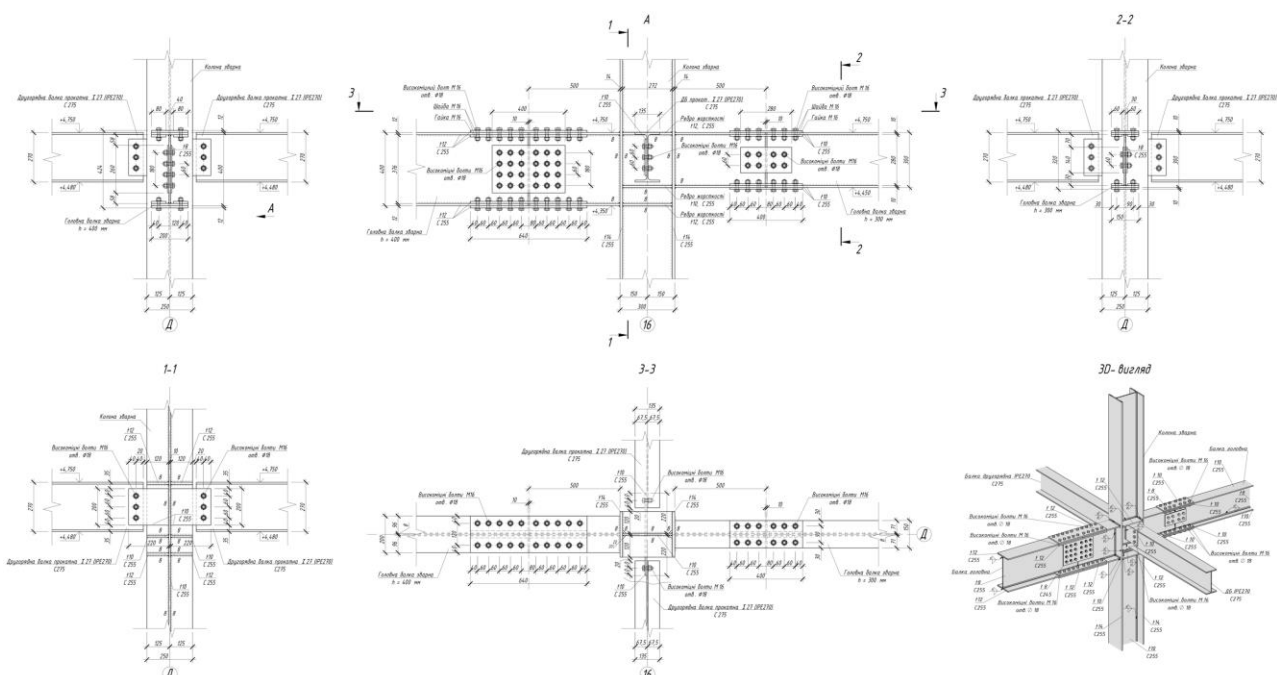


Figure 11 – Beam-to-column connection

2. Column base plate with stiffeners (Figure 12).

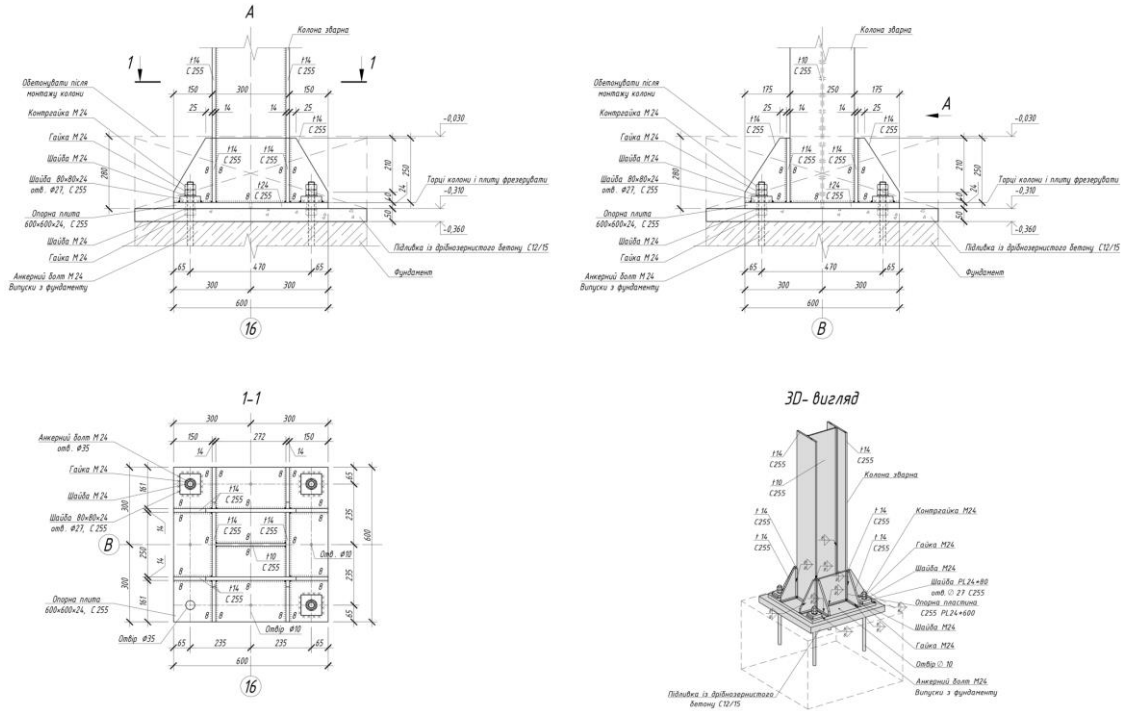


Figure 12 – Column-to-base-plate connection

The physical realization and ease of installation of the frame is confirmed by the chosen layout of elements.

In conclusion, it is worth noting that during the creating of project, the features of the metal framework were considered in the context of rehabilitation centers relevant for Ukraine, the ways of its use to emphasize the features of the architectural image. Steel structures are reliable, durable and open up new possibilities for architects. In the future, they will become useful for the post-war reconstruction of Ukrainian cities without any doubt.



## **2.10 Моделювання та аналіз розрахунку CLT панелей в ЛІРА-САПР та RFEM**

Cross-Laminated Timber (CLT) - це відносно нова технологія виготовлення дерев'яних панелей, що відкриває можливості до будівництва житлових та громадських об'єктів не тільки середньої, а навіть підвищеної поверховості. Традиційні методи будівництва з дерев'яних конструкцій не дають можливості створювати екологічну та водночас висотну архітектуру через обмежену несучу здатність звичайних дерев'яних конструкцій. Натомість, у 1996 році австрійські представники промисловості опрацювали ідею, що виникла в Швейцарії: виготовити багат шарову дерев'яну панель, що буде складатися з декількох перпендикулярних один до одного шарів, які під високим тиском склеєні між собою. Ця ідея настільки поширилася світом, що за дуже короткий час за технологією CLT почали зводити екологічно чисті та вражаючі будинки в Європі, Канаді та Японії. CLT панелі настільки зарекомендували себе в сучасному будівництві, що їх називають “альтернативою залізобетону”.

Конструкції CLT мають ряд переваг:

- суттєво менша об'ємна вага, у порівнянні з металом та бетоном, що зменшує навантаження на фундаменти і, відповідно, їхню вартість;
- CLT панелі є відмінним рішенням для забезпечення характеристик внутрішнього мікроклімату будівель та споруд через свої природні якості;
- міцнісні характеристики панелей сміливо конкурують з конструкціями із залізобетону;
- це екологічно чистий та безпечний матеріал;
- висока межа вогнестійкості, що підтверджена відповідними сертифікатами випробувань, які надаються заводом-виробником;

- доведено експериментально, що сейсмостійкість будинків із CLT панелей дозволяє будувати на ділянках із ймовірними дев'ятибальними землетрусами;
- економічно ефективні, оскільки готові панелі монтуються з мінімальними витратами часу та не потребують великої бригади робітників, панелі швидко виготовляються на заводі та при їх виробництві присутня мінімальна кількість відходів.



Рис.1 Загальний вигляд CLT панелі

CLT панелі є доволі універсальними конструктивними елементами, за допомогою яких можна досягати сміливих та унікальних архітектурних рішень.

Попри наявні переваги поперечно-клеєної деревини, є багато факторів, що стримують чи обмежують розвиток проектування будинків та споруд за технологією CLT:

- це нова для України технологія і багато забудовників не готові ризикувати, тому охоче обирають традиційні матеріали для будівництва;
- висока ціна через малу кількість виробників та відсутність конкуренції в цьому напрямку;
- відсутність кваліфікованих інженерів-конструкторів, що знайомі з CLT та здатні їх розрахувати та проектувати;
- відсутність нормативної бази, що містить пункти з рекомендаціями, обмеженнями, настановами щодо проектування CLT.

На сьогоднішній день на теренах України наукова та нормативна база по дослідженню та проектуванню CLT-конструкцій недостатньо розвинена. В

нормативній літературі [196] немає вказівок стосовно розрахунку даних конструкцій. В своїй монографії [197] Д. Михайловський в розділі 3 розглянув існуючі методики розрахунку ПКД-панелей за першим та другим граничними станами. Також автор вивів порівняльну таблицю, в якій чисельно окреслив існуючі методики розрахунку панелей з поперечно-клеєної деревини, які завантажені рівномірно розподіленим навантаженням, зокрема балочна теорія Тимошенка,  $\gamma$ -метод, композитний метод, теорія Крейзінгера.

Порівняльним аналізом методів Тимошенка та  $\gamma$ -метод займався колектив авторів [198], досліджуючи розрахунок міцності ПКД-панелей при згині. Окреслено переваги і недоліки даного методу [199], серед недоліків виявили, що  $\gamma$ -метод можна застосовувати лише при 3-х та 5-ти шарових панелях. Міцність даних панелей при зсуві та крученні досліджено в роботі [200], а при розтягу та стиску вздовж волокон в [201]. Ще одним із можливих методів розрахунку CLT панелей є метод зсувної аналогії [202], [203].

Країни Європи, Сходу та Америки активніше розвивають методи та інструменти для розрахунку і проектування CLT конструкцій і мають більше наукових та методичних видань, посібників для проектування [204-207]. Також компанії-виробники CLT панелей активно беруть участь у розробці продуктів саме для проектувальників. [208-210]. На території України розташовано масштабне підприємство з виготовлення ПКД панелей, яке має відповідний сертифікат якості [211].

Крім описаних вище аналітичних методів розрахунку CLT панелей, дані конструкції можна розраховувати за допомогою методу кінцевих елементів. Зокрема, виконати такий розрахунок можна, використовуючи програмні комплекси ЛІРА-САПР та Dlubal RFEM.

У [197] досліджено та обґрунтовано можливість застосування програмного комплексу ЛІРА-САПР для розрахунку та аналізу напружено-деформованого стану CLT панелей та автором запропоновано аналітичну методику розрахунку приведених геометричних характеристик перерізу багатошарових панелей,

згідно якої розраховуються приведені модулі пружності вздовж ( $E_1$ ) та поперек волокон ( $E_2$ ) (формули 1-2).

Під час виконання даної роботи проведено розрахунок трьох типів CLT панелей: тришарової, п'ятишарової та семишарової, прольотом 6 метрів (Рис.1). Навантаження – рівномірно розподілене, рівне  $q = 1,5 \text{ кН/м}^2$ .

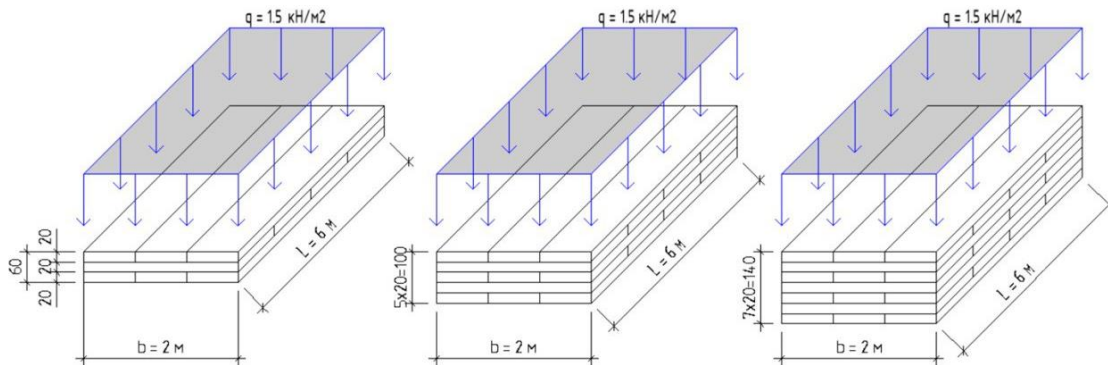


Рис.2 Схеми досліджуваних CLT панелей

Для реалізації дослідження порівняльного розрахунку на основі методу скінченних елементів (МСЕ) за допомогою ПК ЛІРА-САПР пораховано приведені характеристики плити для використання плоских скінченних елементів (СЕ) №44, що моделюють властивості роботи в двох напрямках – вздовж та поперек волокон деревини.

Матеріал – дерево класу С24.

Модуль зсуву  $G = G_{\text{mean}} = 690 \text{ МПа}$ .

Товщина шарів :  $t = 20 \text{ мм}$ .

Розміри СЕ пластини №44 :  $0,2 \times 0,2 \text{ м}$

Загальний вид формул для приведених модулів пружності для 3-шарової панелі:

$$E_1 = \frac{12E_x}{(h_1+h_2+h_3)^3} \left( \frac{1}{12} (h_1^3 + h_2^3 + h_3^3 \frac{E_y}{E_x}) + (\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2})^2 h_1 + (\frac{h_3}{2} + \frac{h_2}{2})^2 h_3 \right) \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{12E_y}{(h_1+h_2+h_3)^3} \left( \frac{h_1^3+h_3^3}{12} + (\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2})^2 h_1 + (\frac{h_3}{2} + \frac{h_2}{2})^2 h_3 + \frac{h_2^3}{12} \frac{E_y}{E_x} \right) \quad (2)$$

де:

- $E_x, E_y$  – модулі пружності шарів панелі вздовж та поперек волокон відповідно;
- $h_1 \dots h_2 \dots h_3 \dots h_n$  – товщини шарів панелі.

Провівши розрахунки, визначено та прийнято наступні значення приведених модулів пружності:

- Тришарова панель:  $E_1=10606$  МПа,  $E_2=764$  МПа;
- П'ятишарова панель:  $E_1=8789$  МПа,  $E_2=2581$  МПа;
- Семишарова панель:  $E_1=7932$  МПа,  $E_2=3438$  МПа.

Коефіцієнти Пуассона

- вздовж волокон  $\nu_0 = 0,49$
- поперек волокон  $\nu_{90} = 0,0161$

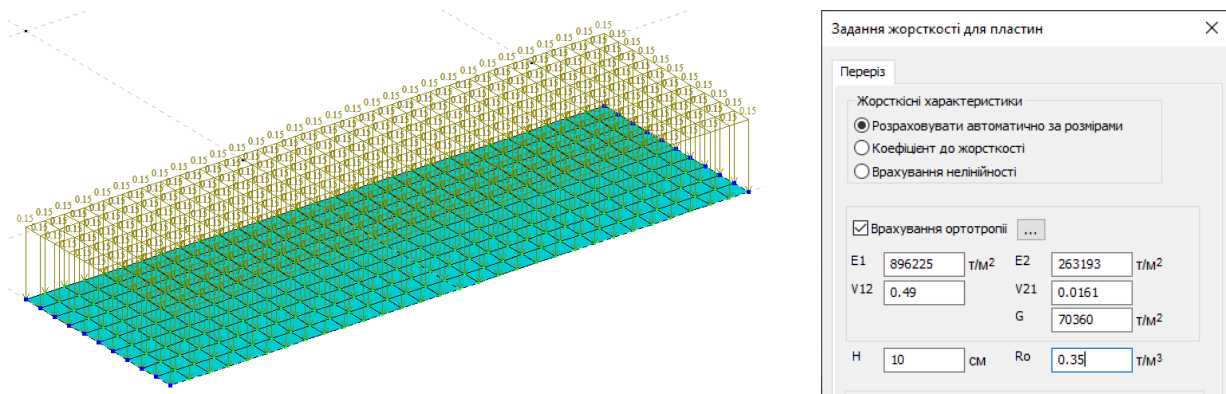


Рис. 3 Загальний вид розрахункової схеми в ЛІРА-САПР та задання жорсткості для СЕ

В розрахунковому комплексі Dlubal RFEM реалізовано розрахунок багат шарових конструкцій з використанням додаткового модуля RF-LAMINATE. Шари конструкцій можна створювати та налаштовувати на основі матеріалів з бази самого програмного комплексу або змінювати їх за потреби. Також програма дозволяє комбінувати моделі матеріалів – є можливість задати ортотропні та ізотропні матеріали в одній конструкції.

No.	Name	Assigned to Surfaces No.
3	Layers   d : 100.0 mm   Layers: 5	2

Main				
Layers				
Layer No.	Thickness	Material	Thickness t [mm]	Direction x $\beta$ [deg]
1	Directly	2 - C24   Orthotropic   Linear Elastic (Surfa...	20.0	90.00
2	Directly	2 - C24   Orthotropic   Linear Elastic (Surfa...	20.0	0.00
3	Directly	2 - C24   Orthotropic   Linear Elastic (Surfa...	20.0	90.00
4	Directly	2 - C24   Orthotropic   Linear Elastic (Surfa...	20.0	0.00
5	Directly	2 - C24   Orthotropic   Linear Elastic (Surfa...	20.0	90.00
6				

Рис.4 Задання шарів CLT панелі в RFEM

В даній роботі використано ортотропні моделі матеріалу з редагуванням характеристик матеріалу C24 з бази даних задля приведення значень до таких, що використовувалися під час розрахунку в ПК ЛІРА-САПР. Товщини шарів панелі налаштовуються з врахуванням товщини та напрямку повороту кожного шару (Рис.4). На основі заданих шарів конструкції автоматично формується загальна матриця жорсткості панелі (Рис 5).

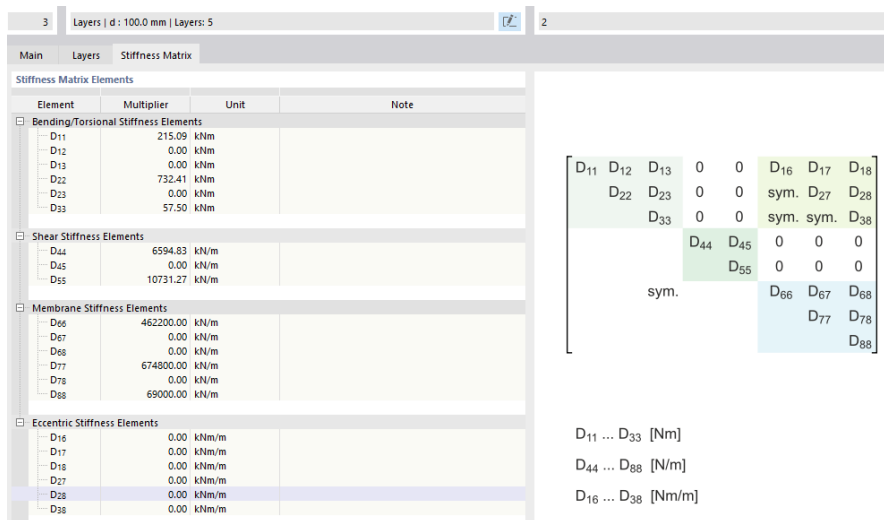


Рис.5 Матриця жорсткості CLT панелі в RFEM

Для дослідження та порівняння результатів розрахунку CLT панелей, в ПК RFEM було створено розрахункові схеми панелей аналогічних розмірів та з таким самим навантаженням, як для ПК ЛІРА-САПР (Рис. 6).

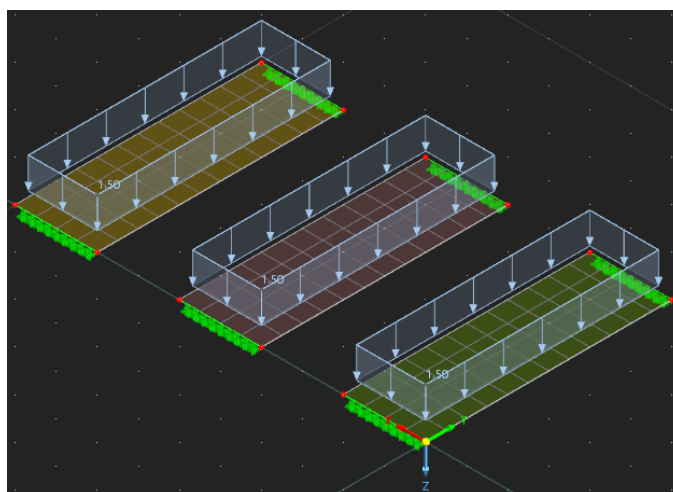


Рис.6 Загальний вид розрахункової схеми в Dlubal RFEM

Результати розрахунку вертикальних деформацій CLT панелей подано в таблиці 1. Проаналізовано розбіжність результатів розрахунку прогинів трьох типів CLT панелей: тришарової, п'ятишарової та семишарової, прольотом 6

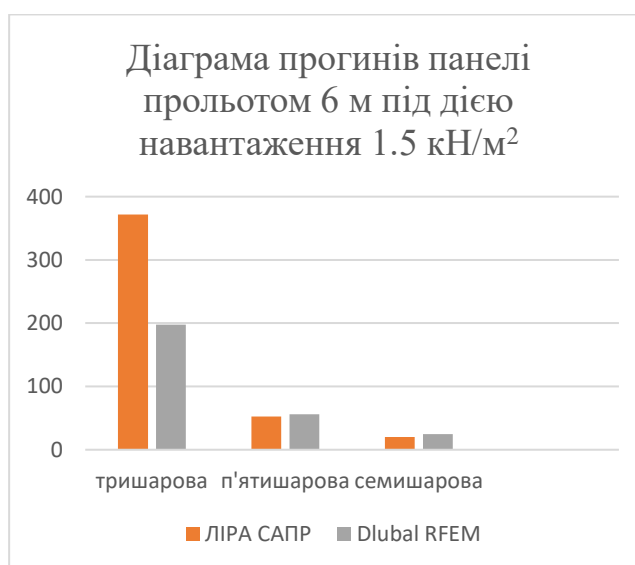
метрів при рівномірно-розподіленому навантаженні  $1,5 \text{ кН/м}^2$ , що становить: для тришарових панелей 87,6%, для п'ятишарових – 6,5%, для семишарових – 19,4%. Також графічно зображено значення прогинів при різних методах розрахунку у вигляді діаграми.

Таблиця 1

Значення прогинів для CLT панелей при рівномірно розподіленому навантаженні  $1,5 \text{ кН/м}^2$

Кількість шарів	Метод розрахунку	Проліт, м	Розбіжність
		6	
		w, мм	
3-шарова	МСЕ №44 в ПК ЛІРА САПР	371,6	87,58%
	Dlubal RFEM	198,1	
5-шарова	МСЕ №44 в ПК ЛІРА САПР	52,57	6,46%
	Dlubal RFEM	56,2	
7-шарова	МСЕ №44 в ПК ЛІРА САПР	19,9	19,43%
	Dlubal RFEM	24,7	

На Рис.7 та Рис.8 подано порівняльні схеми з результатами розрахунку в програмних комплексах ЛІРА-САПР та Dlubal RFEM у вигляді ізополей вертикальних деформацій (прогинів) панелей прольотом 6 м при навантаженні  $1,5 \text{ кН/м}^2$ .



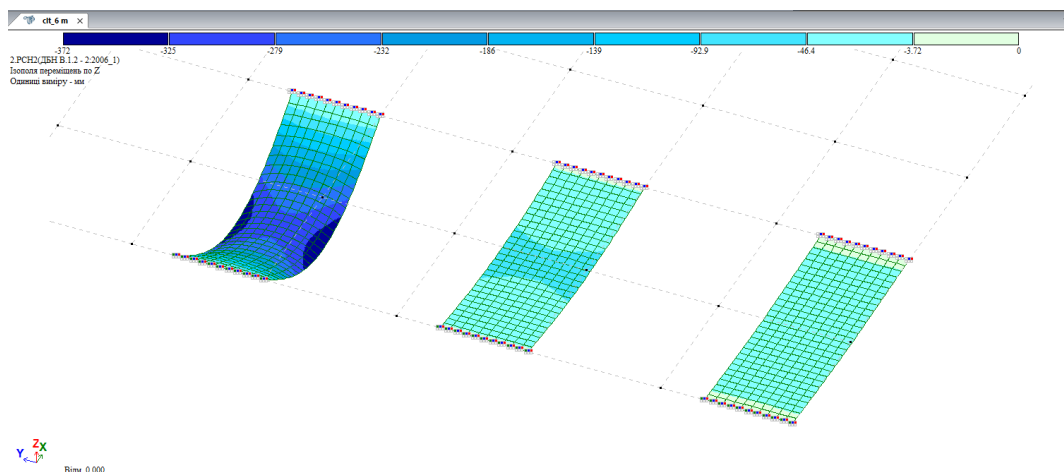


Рис.7 Ізополя вертикальних деформацій CLT панелей прольотом 6 метрів під дією навантаження 1,5 кН/м<sup>2</sup> в ЛІРА-САПР.

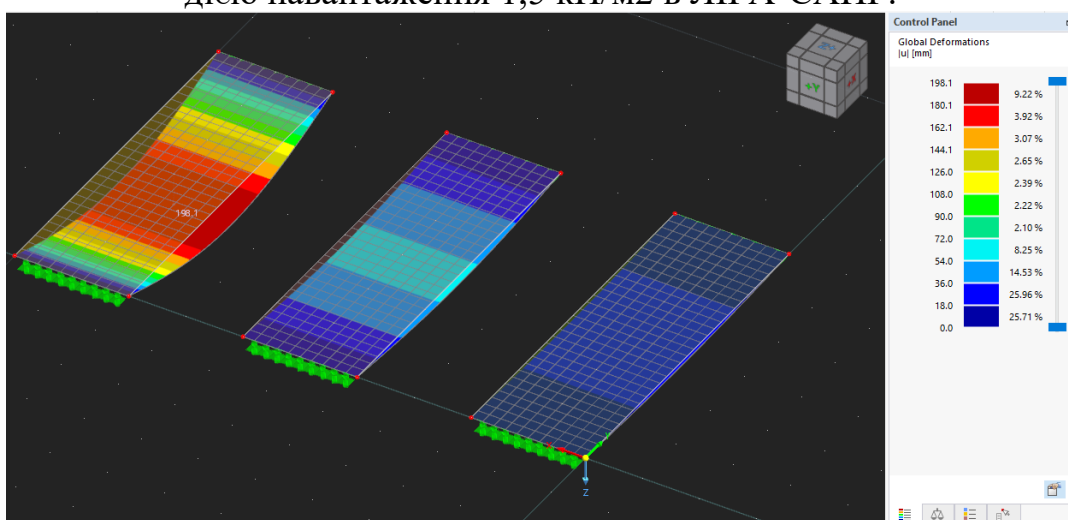


Рис.8 Ізополя вертикальних деформацій CLT панелей прольотом 6 метрів під дією навантаження 1,5 кН/м<sup>2</sup> в RFEM.

### Висновки:

1.ПКД (поперечно клеєна деревина) або CLT (cross-laminated timber) представляє собою нову для України технологію будівництва, яка забезпечує надійність, стійкість, вогнестійкість та екологічність, а також вражаючі показники швидкості зведення будівель.

2. У даній роботі досліджено два методи розрахунку CLT панелей: використання вітчизняного програмного комплексу ЛІРА-САПР та програми RFEM 6 від компанії Dlubal. Згідно результатів розрахунку, найбільша розбіжність прогинів становить 87,6% для тришарових панелей, що свідчить про необхідність удосконалення методики розрахунку. Збіжність результатів для семишарових панелей – 19,4%. Моделювання п'ятишарових панелей в ПК ЛІРА-



САПР та RFEM показали збіжність результатів, що становить 6,5% та свідчить про оптимальну структуру панелі при даних методах розрахунку.

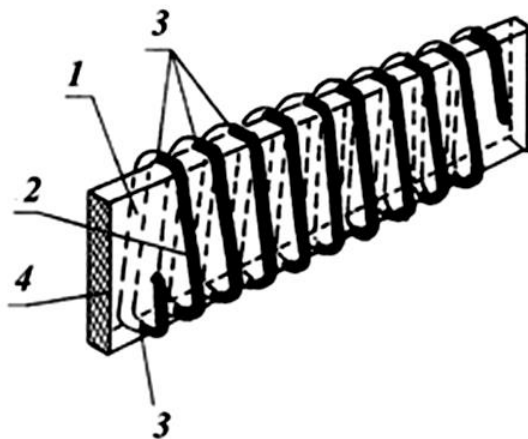
3. Для успішного впровадження будівництва за технологією масивного дерева (CLT) в Україні необхідна наукова та експериментальна база, а також практичні посібники для проєктувальників.

### SECTION 3. DEVICES

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.3.1

#### 3.1 Heat flux sensors for harsh operating conditions

Thermopile heat flux sensors (HFSs), which are made on the basis of a wire spiral made of thermoelectrode material, are widely used throughout the world. Separate sections of coupled thermoelectrode material are galvanically applied to the spiral [212-214]. Such sensors have become widely used to solve the problems of diagnostics and monitoring of various objects in energy, construction and aerospace engineering, as well as the construction of various measuring devices, including calorimetric ones. [214-219]. The basis of such a battery of thermoelements is a flat spiral, which is wound onto a tape frame made of electrical insulating film (Fig. 1). The spiral is made of wire of the main thermoelectrode material with a periodically applied coating of paired thermoelectrode metal. At the same time, the boundaries of the transition from the main (carrying) thermoelectrode 1 to the bimetallic 2 are "joints" 3, which are located along both edges of the frame tape.



1 – main thermoelectrode; 2 – bimetallic thermoelectrode; 3 – thermocouple junctions; 4 – strip frame made of electrical insulating film.

Figure 1. A thermopile of thermoelements with electroplated application of thermoelectric material

In the manufacture of traditional flat HFS, a spiral of thermoelements is placed in a special matrix and filled with an electrically insulating epoxy compound with a

thermally conductive filler to give it the shape of a monolithic plate. Such sensor is a so-called “additional wall”, on opposite sides of which the junctions of thermoelements are located. In the presence of a heat flux passing through an additional wall, i.e. sensor plate, and accordingly, in parallel through all elements of the thermopile, a temperature difference occurs between the junctions, as a result of which an electrical signal is generated in each of the thermoelements connected in series. The total output signal of the sensor is proportional to the value of the heat flux [212-214].

The most common are sensors made of constantan-copper and nichrome-nickel thermoelectric pairs. Methods of calculation and construction of galvanic HFS have been developed, as well as technology and mechanized equipment for the manufacture of a spiral with galvanic coating [212, 214]. Such sensors have high sensitivity, since their manufacturing technology allows placing up to several hundred thermoelements per square centimeter of the sensor surface.

The practice of long-term operation of thermoelectric bimetallic multi-element HFSs has revealed their shortcomings, the main of which are a limited operating temperature range, the dependence of the conversion function on temperature, the instability of characteristics during long-term operation and under the influence of ionizing radiation and high temperature. The stability over time of the characteristics of sensors, in particular metrological ones, depends on many factors, some of them are similar to those that affect thermoelectric temperature sensors (thermocouples), but there are also a number of factors specific to HFS. During operation, HFS are subject to physical aging, as a result of which the properties of thermoelements change. The main reasons for these changes are oxidation and diffusion of thermoelectrode metals, changes in the structure of metals and the filling compound, diffusion of impurities and contamination of metals. Particularly difficult, but at the same time urgent, is ensuring the stability of the characteristics of sensors in-reactor calorimeters operating under harsh operating conditions, namely at elevated temperatures and under conditions of nuclear radiation [220-222]. Most materials that are used for the manufacture of thermopile HFSs with electroplated application of thermoelectrode material change their characteristics under the influence of ionizing radiation and are even destroyed.

This applies to copper and its alloys and epoxy resins, and the polyimide film is somewhat more stable compared to other polymers [221], but also cannot provide sufficiently long operation in the core of a nuclear reactor. Significantly more resistant metals are aluminum, nickel, chromel-alumel thermoelectrode pair; electrical insulators are mica, fiberglass; fine filler made of corundum (aluminum oxide  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) and magnesium oxide ( $\text{MgO}$ ) [222].

The problem associated with the temporal stability of HFS metrological characteristics has been resolved by moving from the widely used copper and precious metal platings to nickel platings. Due to the high corrosion resistance of nickel and its higher resistivity, copel-nickel and constantan-nickel pairs have been obtained, which are highly stable over time even under HFS operating conditions at temperatures up to 500 K. Moreover, in the temperature range from 300 K to 500 K, the change in the conversion function of such HFS does not exceed 3%. A further increase in temperature leads to a significant change in the HFS conversion function and the appearance of peaks at the Curie point temperature for nickel. This drawback was eliminated by the creation of bispiral HFSs, that have two thermopiles in their structure. Moreover, both thermopiles are made with a nickel coating, and the basis of the additional thermopile is a paired thermoelectrode [215, 223].

For calorimetric means operated in nuclear reactor conditions, it is proposed to use bispiral sensors using two series-connected spirals, the base wire of one of which is alumel, and the other is copel. Nickel is applied to both spirals of thermoelements using galvanic deposition as a paired thermoelectrode material.

When designing an HFS, the most important characteristic is its sensitivity and temperature dependence over the operating temperature range. Temperature dependences for thermoelements, which were made of alumel and chromel coated with nickel, were obtained experimentally in the temperature range up to 1070 K. Temperature dependences for thermoelements made of alumel and chromel coated with nickel were obtained experimentally in the temperature range up to 1070 K. In this case, each galvanic pair was simulated by pairs of wires twisted together from the main and paired thermoelectrode materials: chromel and alumel with nickel. The

different ratio of the number of wires in each galvanic pair corresponded to the different thickness of the coating of the pair thermoelectrode. The working junction of galvanic pairs was placed in a cylinder made of stainless steel and filled with sand, which ensured a uniform temperature field and excluded electrical contact of the junction with the body of the metal cylinder. The measurements were carried out using a multi-channel computerized complex, from which the measurement information was transmitted to a personal computer via a USB interface. The measurement results are systematized in Fig. 2, where,  $f_3/f_1$ ,  $f_3/f_2$  is the ratio of the cross-sectional areas of nickel to the cross-section of chromel and the cross-section of nickel to the cross-section of alumel.

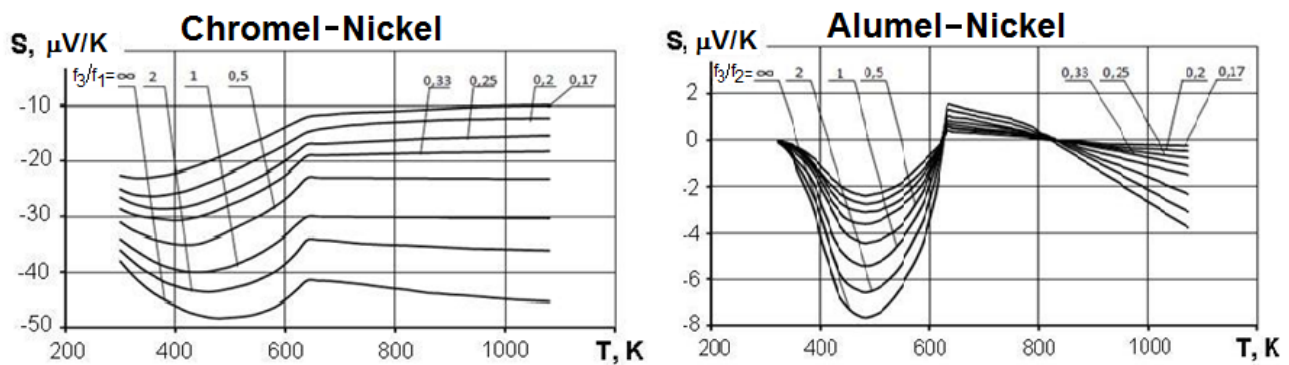


Figure 2. Temperature dependences of the sensitivity of single thermoelements made of alumel and chromel with a nickel coating.

Alumel contains about 95% nickel [224], therefore the absolute value of the thermo-emf of the alumel – nickel couple is relatively small and even changes sign in the zone near the Curie point temperature for nickel 631 K. The absolute value of the thermo-emf of the chromel – nickel couple is much greater, but has a significantly nonlinear dependence on temperature in the range from room temperature to the Curie point.

Figure 3 shows an equivalent electrical circuit of a bi-spiral sensor, which shows only two turns of each of the spirals, and point A is the connection of the two spirals.

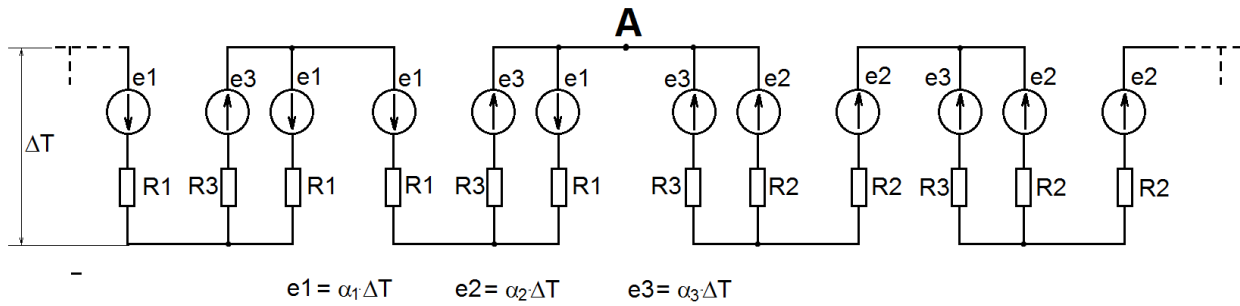


Figure 3. Equivalent electrical circuit of a bispiral sensor:  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  – electrical resistances of half-turns of the spiral (branches of thermoelements) made of chromel, alumel and nickel coating;  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  – thermo-emf, which is formed in the corresponding branch of the thermoelement as a result of the effect of the temperature difference  $\Delta T$ .

The total signal of two thermopiles  $E_\Sigma$ , connected in back-to-back series, according to an electrical signal and in parallel with respect to the heat flux, is calculated by the formula (1):

$$E_\Sigma = E_1 - E_2 = R_T \cdot q \cdot (z_1 \cdot S_1 - z_2 \cdot S_2) = R_T \cdot q \cdot S_\Sigma \quad , \quad (1)$$

where  $E_1$ ,  $E_2$  – signals of individual thermopiles;  $R_T$  – thermal resistance of the sensor between the planes of the thermocouple junctions;  $q$  – heat flux density;  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_\Sigma$  – sensitivity of individual thermopiles and total sensitivity of two thermopiles;  $z_1$ ,  $z_2$  – number of thermoelements in thermopiles 1 and 2.

The total sensitivity of the two thermopiles, that is, the total sensitivity of the sensor, is calculated by the formula (2):

$$S_\Sigma = z_1 \cdot \frac{\alpha_1}{1 + \frac{\rho_3 \cdot f_1}{\rho_1 \cdot f_{3.1}}} - z_2 \cdot \frac{\alpha_2}{1 + \frac{\rho_3 \cdot f_2}{\rho_2 \cdot f_{3.2}}} + \alpha_3 \cdot \left( \frac{z_2}{1 + \frac{\rho_3 \cdot f_2}{\rho_2 \cdot f_{3.2}}} - \frac{z_1}{1 + \frac{\rho_3 \cdot f_1}{\rho_1 \cdot f_{3.1}}} \right) \quad , \quad (2)$$

where  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  – Seebeck coefficients of main wire materials (chromel and alumel) 1 and 2 and coating material (nickel) 3;  $z_1$ ,  $z_2$  – number of thermoelements in the first and second thermopiles, respectively;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  – electrical specific resistivity of main wires 1, 2 and coating 3;  $f_1$ ,  $f_2$  – cross-sectional area of the base

wires of thermoelement spirals;  $f_{3,1} = f_3/f_1$ ,  $f_{3,2} = f_3/f_2$  – relative cross-sectional areas of the nickel coating.

$$\text{When the condition is met } \frac{z_2}{1 + \frac{\rho_3 \cdot f_2}{\rho_2 \cdot f_{3,2}}} = \frac{z_1}{1 + \frac{\rho_3 \cdot f_1}{\rho_1 \cdot f_{3,1}}}, \quad (3)$$

the sensitivity of the sensor does not depend on the properties of the coating material and is calculated using the formula (4):

$$S_{\Sigma} = z_1 \cdot \frac{\alpha_1}{1 + \frac{\rho_3 \cdot f_1}{\rho_1 \cdot f_{3,1}}} - z_2 \cdot \frac{\alpha_2}{1 + \frac{\rho_3 \cdot f_2}{\rho_2 \cdot f_{3,2}}}. \quad (4)$$

That is, if condition (4) is met, the sensitivity of the bispiral sensor does not depend on the properties of the galvanic coating material. Thus, by choosing the parameters of the thermoelement spirals, it is possible to create a bispiral sensor, the sensitivity of which will depend only on the properties of the base wires, namely chromel and alumel. Based on formula (4), when mathematically subtracting the thermo-emf of another galvanic couple from the thermo-emf of one galvanic couple, it is possible to obtain the sensitivity dependences for a sensor containing one thermoelement each of chromel-nickel and alumel-nickel (Fig. 4).

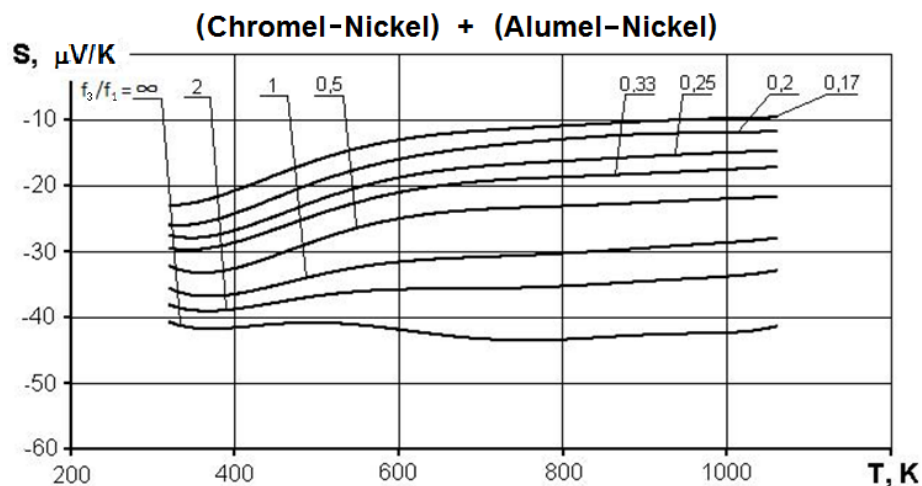


Figure 4 Temperature dependences of the sensitivity of the sensor containing one thermoelement each of chromel-nickel and alumel-nickel.

Value  $f_3/f_1$  is the ratio of the cross-sectional areas of the nickel coating and the base wire of chromel and alumel.

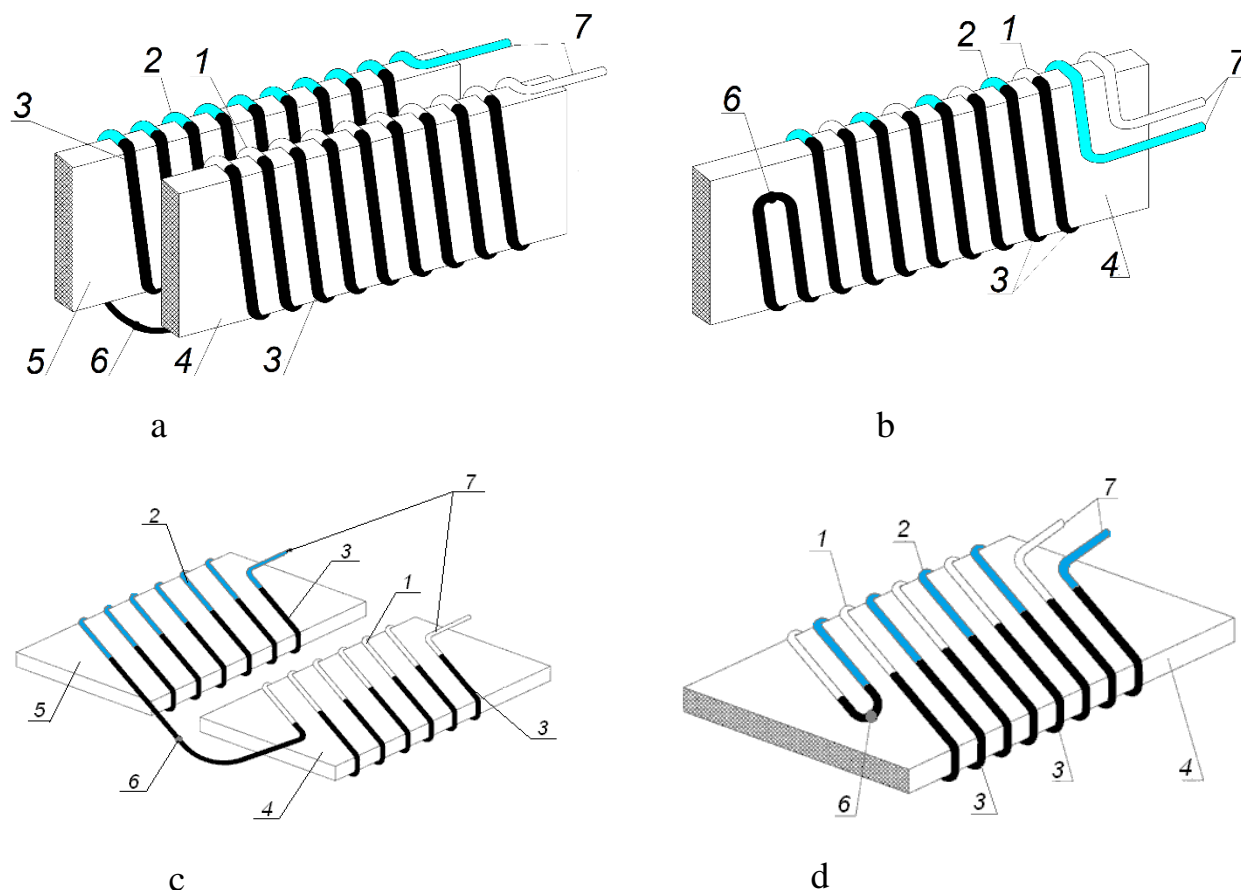
From Fig. 4 it follows that the sensor in which the ratio of the cross-sectional areas of the nickel coating and the base wire made of chromel and alumel approaches infinity has the lowest temperature dependence of sensitivity, but in practice the thickness of a high-quality coating applied by an electrolytic method is limited. Therefore, it is advisable to choose the ratio of cross-sectional areas  $f_3/f_1 = f_3/f_2 = 2$ . That areas can actually be achieved using known technology, ensuring a relatively insignificant temperature dependence of the sensitivity of the spiral sensor, namely no more than  $\pm 10\%$  in the temperature range from 300 K to 1070 K.

Based on the results of the studies, it can be stated that special selection of the parameters of the bie-spiral sensor makes it possible to achieve that its sensitivity will not depend on the thermoelectric properties of the coating material of the main wires. Due to the fact that even a specially selected couple of thermoelectrode materials of base wires, namely chromel and alumel, has some temperature dependence of the Seebeck coefficients, the sensitivity remains to some extent a temperature-dependent value.

The results of studies of the temperature dependence of the sensitivity of thermoelements made of thermoelectrode materials (Fig. 2 and Fig. 4) make it possible to select the coating thickness and other parameters of batteries of thermoelements that will ensure minimization of the temperature dependence of the sensitivity of a sensor based on chromel and alumel with a nickel coating.

When manufacturing a spiral sensor, several design solutions are possible, which are schematically shown in Fig. 5. Options a and b refer to the case where the junctions are located on the edge of the supporting frame spiral tape, and options c and d refer to the case with the junctions on the flat edge of the tape.





1 – main thermoelectrode wire of the first spiral; 2 – thermoelectrode wire of the second spiral; 3 – electrolytic coating of the corresponding half-turns of each spiral; 4, 5 – frame insulating tapes; 6 – junction connection of spirals; 7 – output wires of thermocouple batteries.

Figure 5 Options for the design of a thermopile of thermoelements of a bispiral sensor (a, b – junctions on the edge of the frame tape; c, d – junctions on the flat edge of the tape).

According to the first version of the HFS design (Fig. 5, a) both spirals, which are made of main thermoelectrode wires 1 and 2 with an electrolytic coating of 3 half-turns, are wound on separate frame tapes 4 and 5. These tapes are made of strips of electrical insulating material of the same height and are arranged in parallel in such a way that the upper junctions of both spirals are in one plane and the lower junctions are in another one. The planes of the junctions are parallel and spaced at the height of the thermopile. Both spirals in junction 6 are connected in series and fixed into a single structure with a compound electrical insulating material or by other mechanical

methods, for example, by inserting in the gap between two elements, sealing with electrical insulating material or backfilling (not shown in Fig. 5). The spiral sensor signal is output through lead-out wires 7.

The design of the HFS according to the version shown in Fig. 5, b, differs in that both spirals are located on a common frame tape 4, while the thermoelectrode wires 1 and 2 are wound in parallel and offset from each other with an insulating gap that does not allow electrical contact between the thermoelements.

Sensor designs with junctions on the flat edge of the tape (Fig. 5, c, d) can also be made in two similar options described above. That is, the sensor consists of two spirals, with each spiral placed on an individual carrier tape (option c) or on a common tape (option d), but with an offset to prevent the turns of one spiral from touching the turns of another spiral.

Options shown in Fig. 5 b and d are more convenient when forming a single calorimetric sensor, since one tape is used, from which it is easy to form a separate sensor or calorimetric covering. At the same time, the options shown in Fig. 5, a and b, provide more opportunities for varying the parameters of thermoelement spirals to ensure condition (3), i.e. it is possible to choose different and unequal values for the number of thermoelements and coating thickness.

It should be noted that at high temperatures, the mutual diffusion of materials at the point of contact is significantly accelerated, which leads to a change in the sensitivity of all thermoelectric devices. An experimental test of the stability of the sensitivity of the bispiral sensor was carried out by keeping it at a temperature of 520 K for 20 hours. After this, the sensitivity of the sensor remained stable within the measurement error. However, studying the stability of the characteristics of a bispiral sensor at high temperatures requires additional research.

As mentioned above, bispiral thermopile sensors based on wires, which are made of chromel and alumel with a nickel coating, are promising for creating in-reactor calorimeters on their basis. Such measuring instruments are designed for measuring and operational monitoring of radiation heat release in structural materials that are irradiated in the channels of nuclear reactors and at the same time disintegrates or

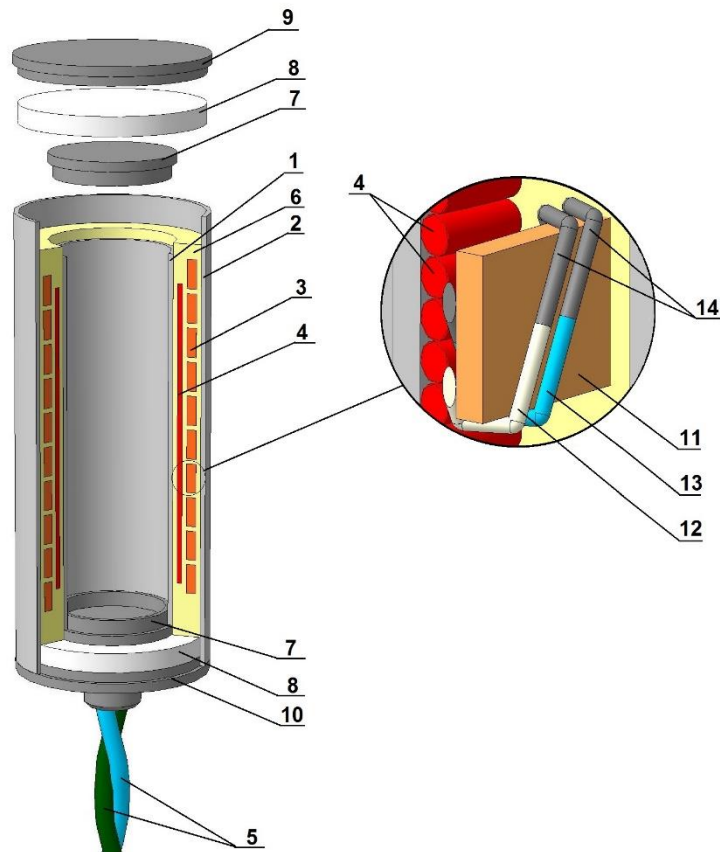
absorb radiation. At the Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, in collaboration with the Institute for Nuclear Research of NAS of Ukraine, a system of in-reactor calorimeters was developed, built on the basis of multilayer sensors with welded thermoelements from chromel and alumel, manufactured using labor-intensive and low-productivity technology [212, 220]. Typically, a system of in-reactor calorimeters consists of several (4–5 pieces) identical integral heat flux calorimeters. One or two calorimeters do not contain samples and are used to measure background heat generation in the calorimeter itself. Other calorimeters contain samples of the investigated materials.

The design of the proposed internal reactor calorimeter (Fig. 6) consists of two coaxial cylinders, namely, internal 1 and external 2, made of aluminum, which is a stable material under conditions of ionizing radiation.

Inner cylinder 1 forms a calorimetric cell in which the samples to be studied are placed. The ends of the cell cylinder are closed with aluminum caps 7 and heat-resistant ceramic washers 8, which act as thermal insulation. The edges of the outer cylinder of the housing are closed by an upper cover 9 and a lower one 10 with an outlet pipe.

In the internal space between the coaxial cylinders there is a thermopile 3 and an electric heater 4, to the ends of which lead wires 5 are connected. To impart solidity, the thermopile and electric heater are filled with electrically insulating silicone varnish KO-08 filled with corundum 6, which is also resistant to ionizing radiation.

The double spirals of the thermopile are wound on a fiberglass tape 11, while in one branch of the thermopile a chromel wire is used as the main thermoelectrode 12, and a nickel coating 14 is applied as a thermoelectrode couple. In another branch of the thermopile, alumel wire is used as the main thermoelectrode 13, and the coating 14 is also made of nickel. To carry out calibrations of the device, a layer of electric heater made of nichrome or chromel wire in fiberglass insulation 4 is evenly wound onto the inner cylinder 1. The outer diameter of such a calorimeter is 10-20 mm, and the length is 30-50 mm, depending on the requirements for the samples being studied, the design and heat exchange conditions in the measuring channel of a nuclear reactor. The measured thermal power is up to 20 W.



1 – inner cylinder (cell); 2 – outer cylinder; 3 – thermopile; 4 – electric heater; 5 – output wires; 6 – organosilicon varnish with corundum filler; 7 – cell covers; 8 – ceramic thermal insulation; 9 – upper cover of the calorimeter; 10 – lower cover of the calorimeter; 11 – frame tape; 12 – base wire made of chromel; 13 – base wire made of alumel; 14 – nickel coating.

Figure 6. Design of an in-reactor calorimeter with a bispiral sensor.

This design combines a number of advantages compared to the known ones, namely: the materials used in the manufacture of the spiral sensor do not change their physical characteristics under the influence of radiation; the sensitivity of such a measuring device is practically independent of temperature over the entire operating temperature range; during production, the traditional manufacturing technology is retained, which is used for the manufacture of standard HFSs and is well established.

Conclusions. Bispiral HFSs with galvanic depositon of nickel on half a turn of chromel and alumel wire spirals are proposed and justified for use in harsh operating conditions, namely at elevated temperatures and nuclear radiation.

The developed design of the bispiral HFS for measuring heat release under harsh conditions of ionizing radiation in a wide temperature range allows for reliable recording of the measured parameter. Such a primary sensor can be used in in-reactor calorimeters, which will provide more accurate measurements.

SECTION 4. ELECTRICAL ENGINEERING

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.4.1

4.1 The physical processes in turbogenerator end zone

The main tendency of development the power engineering and turbogenerator construction always consisted in constant increase the capacity unit of electric power station turbo-aggregate, since it reduced the specific cost of both the turbo-aggregate production and the construction and installation works, decreases the number of operating personnel and the materials expense per unit of installed power, and also increased efficiency [225, 226] (Figures 1 and 2).

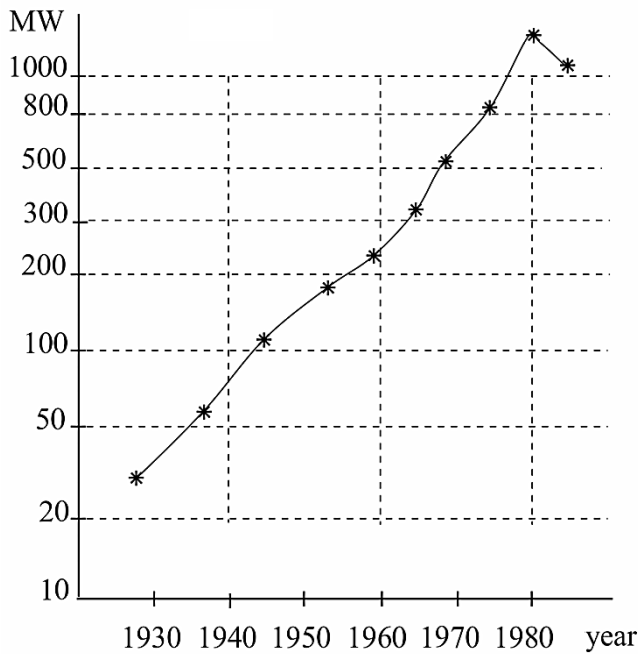


Figure 1. Rise dynamics of power unit by years

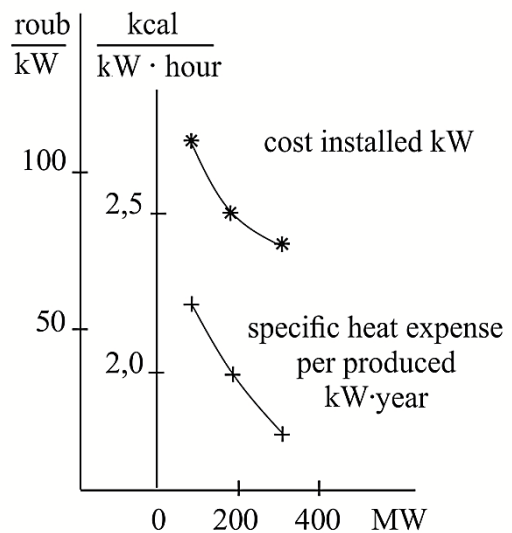


Figure 2. Improvement of electric power station economic indices with the increase of turbine power

However, an increase of generators unit capacity is a complex engineering and design task that can be seen from the known formula (in kilovolt-amperes) [226]

$$P = 1,11D_1^2 l_1 n A S_1 B_\delta k_{y1} 10^{-2}, \tag{1}$$

where  $D_1$  is the diameter of stator boring, m;  $l_1$  is the active length of stator, m;  $n$  is the nominal frequency of rotation, rpm;  $AS_1$  is the linear load of stator, A/cm;  $B_\delta$  is the

magnetic flux density (of first harmonic) in the air gap,  $T$ ;  $k_{y1}$  is the coefficient of stator winding step reduction.

Thus, at the same frequency of rotation  $n$  and almost invariable (depending on the properties of electrotechnical steel) magnetic flux density in the air gap an rise of a turbogenerator power can occur by increasing the linear load  $AS_1$  and the stator sizes ( $D_1, l_1$ ). The increase of magnetic flux density  $B_\delta$  is limited the stator and rotor magnetic condition. The use of electrotechnical cold-rolled steel allows some to increase the magnetic flux density in stator teeth, but the rapid saturation of rotor tooth zone of a generator with not changed magnetic properties of materials does not to give increase considerably the magnetic flux density for extension of a machine power. The increase of sizes  $D_1$  and  $l_1$  are limited by the diameter of rotor  $D_2$  according to the metallurgy requirements ( $D_2 = 1,2-1,3$  m), that limits, respectively, the length of rotor  $L_2$ , which in accordance with the vibration resistance conditions must be within  $L_2 = (3-6,5)D_2$ , as well as railway dimensions (transport conditions).

Therefore, the power increase is achieved mainly by rise the linear load  $AS_1$ , that is, in limited stator sizes – by increasing the current density that is only possible with the simultaneous cooling intensification.

Air, hydrogen, water (distilled), transformer oil were practically used as the cooling medium for turbogenerators. Comparison of their properties with respect to air is given in Table 1 [225, 227].

Table 1.  
Cooling medium properties with respect to air, c.u.

The main characteristics	Hydrogen at the excess pressure, MPa		Water (distillate)	Transformer oil
	0,003	0,2		
Density	0,0696	0,21	1000	848
Volumetric heat capacity	0,996	3,0	3500	1400
Thermal conductivity	6,69	7,1	23	5,3
Expenditure	–	1,0	0,01	0,01
Heat diversion	1,5	3,0	50	21

The transition from the air use to the hydrogen use in turbogenerators construction with a power above 25–50 MW began at the end 1930 year, and in the USSR countries – at the end 1940 year. This allowed increasing a turbogenerators power unit up to 200 MW, reducing the overall dimensions of turbogenerators 25–50 MW and increasing the efficiency (Table 2) [225].

Table 2.

Efficiency dependence on the cooling medium, %

Cooling medium of turbogenerator	Power of turbogenerator, MW		
	25	50	100
Air	97,3	97,7	98,0
Hydrogen	98,2	98,6	99,0

Consider the stages of cooling systems development in turbogenerators construction on the example of their designs developed and produced by plants «Elektrosyla» (Leningrad), «Elektrovazhmash» (Kharkiv), «Sybelektrotyazhmash» (Novosibirsk).

A turbogenerators cooling intensification was initially due to the increase of hydrogen excess pressure in the housing from 0,03 to 1,0–2,0 kGs/cm<sup>2</sup> with maintaining the indirect (external) gas cooling of the stator and rotor windings (50's years, series TV and TV2, power 25–150 MW – «Elektrosyla», series TGV and TVS, 25 and 30 MW – «Elektrovazhmash»); then due to the application of direct (internal) gas cooling of the winding copper, first of all, the rotor (50–60's years, series TVF, power 60, 100 and 200 MW – «Elektrosyla» and «Sybelektrotyazhmash»), and then the stator (series TGV, power 200 and 300 MW – plant «Elektrovazhmash»).

The efficiency of direct cooling application was greatly enhanced by a further increase of hydrogen pressure. It can be seen from Figure 3, the possibility of rotor losses decrease when hydrogen cooling has sharply increased with increasing hydrogen pressure, especially with the direct cooling of the copper winding [228].



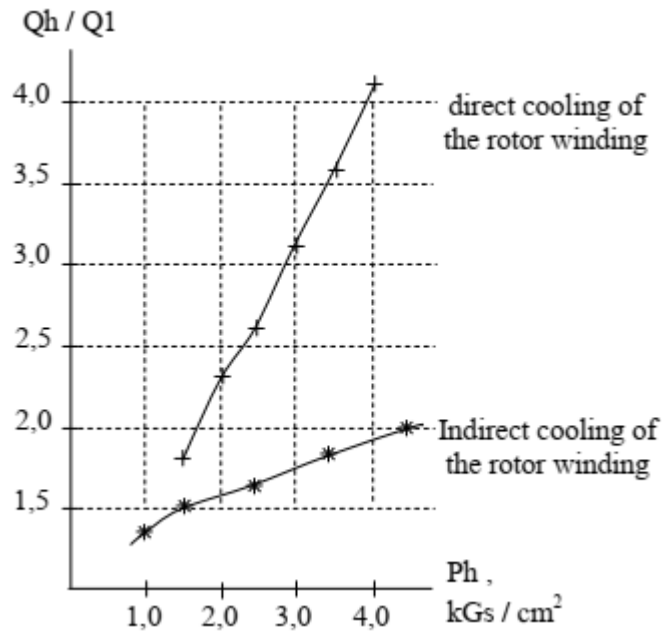


Figure 3. Hydrogen pressure influence  $P_h$  and cooling type on the ratio of rotor maximum losses, that can be decreased with hydrogen cooling  $Q_h$ , to the corresponding losses with air cooling  $Q_1$  (at atmospheric pressure)

If the transition to hydrogen cooling of turbogenerators provided power up to 150–200 MW, then a new way of cooling – direct windings cooling – together with the hydrogen pressure up to 5 kGs/cm<sup>2</sup> made it possible to build a generator of power 1000–1200 MW with direct hydrogen cooling of the rotor [229]. The calculations showed the possibility application of direct hydrogen cooling of the rotor for a turbogenerator with power 1600 MW.

A number of firms were taken direct liquid cooling with distilled water or oil flows in hollow copper conductors of the stator winding (50–60's years) [230]. The high efficiency of direct liquid cooling of the stator bar is illustrated in Table 3 [231].

Direct water cooling of the stator winding was taken by plant «Elektrosyla» for a series bipolar generators TVV (power 165, 200 and 220, 320, 500, 800, 1000, 1200 MW) and for a quadripolar turbogenerator 1000 MW; plant «Elektrovazhmash» – for bipolar generators of power 200 MW, for bipolar and quadripolar turbogenerators of power 500 MW (TGV-200 and TGV-500, respectively).

Table 3.

The maximum relative permissible current load  
on the stator winding bar with different cooling

Hydrogen pressure in a turbogenerator, kGs/cm <sup>2</sup>	Indirect cooling	Bar direct cooling				
		Gas	Liquid			
			Water		Oil	
			a	b	a	b
0	1,0	1,2	3,5	4,9	1,4	1,9
0,6	1,03	1,4	–	–	–	–
1,2	1,07	1,6	–	–	–	–
1,8	1,13	1,8	–	–	–	–

Note:

- 1) all values represent the ratio of the maximum current load with bar indirect hydrogen cooling at pressure close to atmospheric;
- 2) the fluid pressure for liquid cooling is 1,2 kGs/cm<sup>2</sup> (a) and 3,7 kGs/cm<sup>2</sup> (b);
- 3) the maximum permissible temperature for bars gas cooled is 130 °C, for bars liquid cooled – 60 °C.

Direct cooling of the winding and stator core with insulating oil was applied by plant «Sybelektrotyazhmash» for generators type TVM-300 (power 300 MW, without hydrogen).

Due to technical difficulties the direct water cooling of rotor was later applied than stators (60–70's years) and used by plant «Sybelektrotyazhmash» for turbogenerators type TVM-300, as well as by plant «Elektrovazhmash» for TGV-500-4. Plant «Elektrosyla» has also developed and applied in industry an essentially new turbogenerators with direct water cooling of the rotor windings, the stator windings and stator core – a series T3V (so-called «three waters») of power 60 and 800 MW.

Technological progress of turbogenerators cooling systems development and cooling intensification of active parts caused a significant increase the material use coefficient [231, 232] (Figure 4 and Table 4), that is rise a generator production efficiency, despite construction complication due to the need of auxiliary systems provides functioning of cooling systems: gas system, oil supply system of shaft compression, water cooling system of the windings.

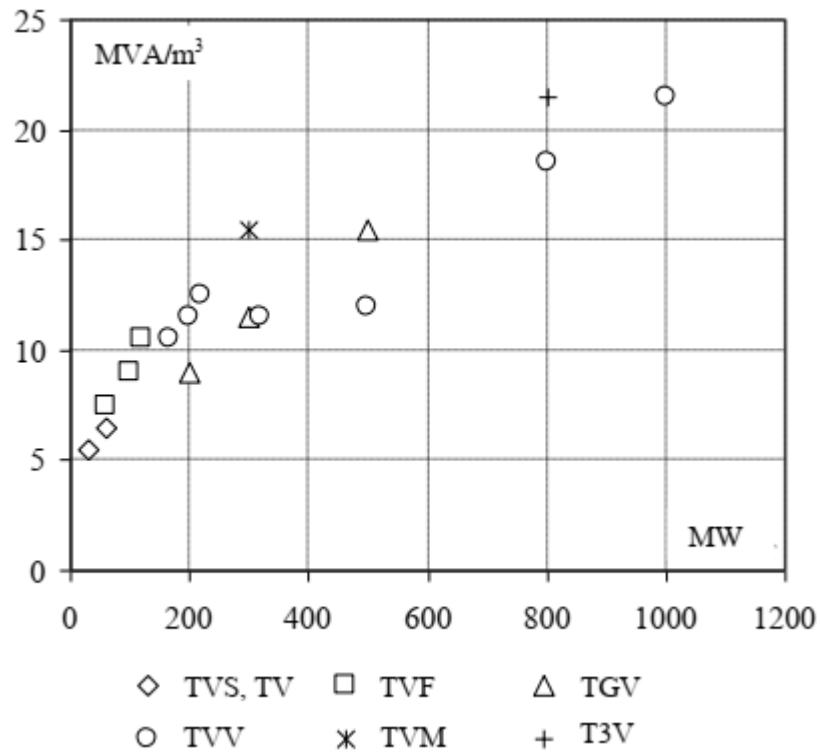


Figure 4. Increase of a turbogenerator use coefficient with rise of power unit

Table 4.

Turbogenerators cooling systems of various types

Sings (Figure 4)	Turbogenerator type	Stator winding cooling	Rotor cooling	In a housing of turbogenerator
◇	TVS-30 TV-60-2	Indirect, hydrogen	Indirect, hydrogen	Hydrogen
□	TVF-60-2 TVF-100-2 TVF-120-2	Indirect, hydrogen	Direct, hydrogen	Hydrogen
△	TGV-200 TGV-300	Direct, hydrogen	Direct, hydrogen	Hydrogen
	TGV-500	Direct, water	Direct, water	Hydrogen
○	TVV-165-2 TVV-200-2 TVV-220-2 TVV-320-2 TVV-500-2 TVV-800-2 TVV-1000-2	Direct, water	Direct, hydrogen	Hydrogen
✖	TVM-300	Direct, oil	Direct, water	Oil
+	T3V-800-2	Direct, water	Direct, water	Water

The further growth of a turbogenerators power unit was inhibiting by the energy systems development.

So, today in the post-Soviet countries at the electric power station are existing high-use turbogenerators with various constructions, maximum power and cooling type (Table 5).

Table 5.

Maximum power of working turbogenerators in the post-Soviet countries

Series, type	Power, MW	Frequency of rotation, rpm	Cooling medium		
			Stator		Rotor
			winding	core	
Thermoelectric power stations					
TVV-1200-2U3	1200	3000	Water	Hydrogen	Hydrogen
T3V-800-2	800	3000	Water	Water	Water
TGV-500-2	500	3000	Water	Hydrogen	Water
TVM-300	500	3000	Oil	Oil	Water
Nuclear power stations					
TVV-1000-2U3	1000	3000	Water	Hydrogen	Hydrogen
TVV-1000-4U3	1000	1500	Water	Hydrogen	Hydrogen
TGV-500-4	500	1500	Water	Hydrogen	Water

At one time the desire to reduce operating and capital costs of power units led to the building a capacity limit generators of 300, 500, 800–1200 MW. Primarily, this is was due to economic efficiency, since for more powerful turbogenerators decreases the construction and installation works, reduces the operating costs and increases thermal efficiency [225].

When building a powerful generator the geometric scales remain almost unchanged, and the stator linear load is constantly rising. The increase of linear loads at constant geometric scales leads to intensive rise the leakage flux of winding frontal parts. These flows excite eddy currents in constructive parts of the end zone that cause additional losses in these elements. Additional losses distribution in the elements of

end zone design is quite uneven leads to increase and sometimes unacceptable local heat of separate units.

Therefore, the increase of stator linear load raises the probability of breakdown a generator due to overheating and failure of some units in the end zone. It is necessary to build a working reliably machines in the required operating conditions, since the cost of downtime a powerful generator exceeds the cost of construction.

In direct cooling generators due to a sharp increase the linear load  $AS_1$  rise additional losses of short circuit. Additional losses on the surface of rotor and stator teeth caused by higher harmonics not increase, since the magnitude of leakage flux density in the gap are limited at increase  $AS_1$  by raising the gap length. At the same time, leakage flux losses in the stator winding frontal parts increases because almost unchanged the magnetic conductivity in a generator end parts and the magnetize strength of leakage flux increases proportional to  $AS_1$ . These losses causes increased heat of the stator core end packets, the press plates and other structural elements located near the winding frontal parts.

In a generator designs with high using materials provides the special means to reduce additional losses.

The end packets stator teeth are made with the slits for reduce eddy currents losses caused the end magnetic field.

A very good mean for reducing the leakage flux in end parts is installation the damping shields of thick copper sheets placed on the outer side of press plate or between it and the end packet. In the presence of a copper shield between press plate and end packet the leakage flux additional losses entering into packets end zone are reduced. It is advisable to provide artificial cooled copper shield (for example, water).

In some designs instead of the copper shield in stator winding frontal parts placed the circular core of electrical steel sheets in order to prevent the penetration of the leakage flux in massive parts of press plate and stator housing.

In more modern generators in order to reduce losses and heat of the stator end packets used the magnetic shunts that are packets of electrotechnical steel similar to packets of the main core, but less thickness (20 mm) and with considerably short teeth

(or completely without them). Thus, these packets not have the main flux, but close the axial leakage flux of stator winding frontal parts penetrating through the press plate and shield. For better ventilation the magnetic shunts are separated from the main core by press fingers (Figure 5). Magnetic shunts reduce the heat of core end packets compared to the usual design and allow operating generators in underexcitation modes without a high heat of core end packets.

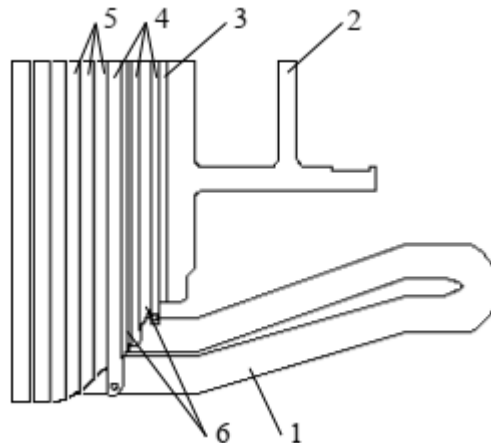


Figure 5. Stator core end zone of a generator type TVV-1000-2U3:

- 1 – winding frontal part; 2 – press plate;
- 3 – electromagnetic shield; 4 – press fingers;
- 5 – core packets; 6 – magnetic shunt

At the revolution of rotor the end leakage flux of stator and rotor winding frontal parts crosses the massive units placed in this zone of a generator and thereby causes losses in them. Usually all fastening units of core and stator winding in order to reduce losses are made from non-magnetic materials. The rotor bandage rings of non-magnetic material also help to reduce end flux. The press plate of stator core is made of non-magnetic steel ( $\mu_e = 1,05$ ) with the high electric resistance  $\rho = 0,8 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .

The non-magnetic press plate is also an electrical shield.

The thicker shield will better shielding the constructive units. So usually try to work in strong shielding zone, that is, in zone with a large thickness of a shield taking into account the economic and constructive factors.

It is necessary to note the unwanted side of the action of electrical shield related with placing in the circuit excites a flux. The shield currents cause not only the weakening of general flux penetrates into shield, but also the distortion of magnetic

field. So, part of flux is displaced in the space near shield together with the shielding of constructive units located directly behind shield. Therefore, the losses in some units may increase. For example, the electrical shield protecting the core back displaces the partial end flux in a machine tooth zone.

The transposition of wires in slot for one full turn along the length eliminates the potential difference between conductors due to their different position in height of slot. At the same time, however, there is potentials difference due to uneven position the conductors in section of frontal parts. As a result, currents causes the additional losses in bars with a normal transposition on  $360^\circ$  in slot will circulate.

The transposition conductors on one and a half turns ( $540^\circ$ ) in large generators with a high current density in the winding are appropriate. This is partially compensates for the absence of transposition in the frontal parts and minimizes the magnitude of circulate current within a half-bar.

The increase of unit capacity and current loads generators made task the research and development of a new insulating materials and technological processes that meet the high requirements in this field. As a result, the researches a series of insulation types have different kinds the initial materials and manufacturing method, but very similar physical properties. Such insulation is called thermo-reactive.

However, the mounting of winding bars with thermo-reactive isolation requires great precision and care because of inelasticity it prevents deformation.

Usually for direct cooling machines the more parallel branches in the cooling system the more even heat of winding. For direct cooling machines the coolant temperature flows inside of winding ducts is also of great importance.

It is necessary to take into account the constructive factors influences on magnetic field distribution in the end zone in order to achieve the most efficient cooling of an electrical machine end zone (including a turbogenerator). The analysis of theoretical studies showed for magnetic field determination in the end zone it is important to consider the following:

1. Location of teeth the most loaded end magnetic flux and the values of flux on their surfaces depend on the shift direction of stator winding layers at a given the

revolution direction of rotor. It is advisable to perform the stator winding so that the lower layer is shifted relative to the upper against the rotation of field for the goal of more even the end magnetic flux distribution between a generator teeth and decrease its concentration.

The value of axial magnetic flux through the surface of teeth located at the phase zone junction of stator winding is greatest [233–236]. In this case there are two possible variants, namely: at the junctions of the lower layer if it is displaced relative to the upper in the revolution direction of field; at the junctions of both the lower and upper layers if the lower layer is displaced relative to the upper against the revolution direction of field. In the second variant a load unevenness of separate teeth is less as compared with the first variant.

One of the effective methods of reducing the heat tangential unevenness is the redistribution of cooling hydrogen flow between the press plate and the end packet with an increase its volume towards on cooling the interphase zones by increasing the appropriate apertures in the gas-distributive cylinder. Thus, the hydrogen flow in interphase zone (correspondingly, and the heat transfer coefficient) can be increased in 1,5–2 times without the cooling deterioration other elements and units stator of a generator.

In particular, in [237] the increase in 1,5 times the heat transfer of tooth end surface of interphase zone in the ventilation duct between the press plate and the packet was considered. According to the obtained results, such cooling intensification of interphase zone allows reduced the maximum temperature of packet at 7 %.

Another promising direction of reducing the total heat level of stator core end packet is increase the thermal conductivity of laminated iron across the sheets. One of the technologies allows to increase the transverse thermal conductivity is glue together the end zone packets, for example, with help an epoxy paste EP-3. On the one hand, this increases the packets mechanical stiffness in the changeable load modes and the underexcitation modes of a generator. On the other hand, studies [238] show the thermal conductivity of glued together packet an average is 3,4 W/(m·K), that is almost twice above a similar indices in the absence of glue together 1,9 W/(m·K). Addition in paste



the dispersive insulating fillers with high thermal conductivity ( $\geq 5-10 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) allows bring the equivalent thermal conductivity of the packet up to  $5-6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ .

The temperature maximum level of packet steel teeth decreases by 7 % according to the calculating results of end packet heat at the transverse thermal conductivity  $3,4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  [237]. Simultaneous introduction of intensification the interphase zone cooling and increase of transverse thermal conductivity of steel allows reducing the tooth maximal heat to 14 %. In this case the margin of packet teeth maximum temperature can be achieved allows extending the generator load diapason in underexcitation modes with respect to permissible temperature of stator core.

2. Influence of structural modifications (the shape of chamfer the end packets, the ratio of length the stator core and the rotor, the geometric shape of stator and rotor winding frontal parts, for example, the scale of frontal parts, the angle of bend the stator winding frontal junctions etc., relative values of width the teeth and slot stator, the presence of slits and stepped form the end packets teeth etc.) on the end magnetic field. Using the chamfer of stator core end packets provides a reduction of magnetic flux concentration in chamfer zone, but causes an increase of magnetic flux density on the vertical surface area adjoined with chamfer. Thus, the shape of chamfer affects the magnetic flux density on the surface end packets bevelled and located above the chamfer. It is necessary to consider the permissible heat of end packet under-slot zone and the stator core mechanical stiffness when increasing the chamfer almost on the entire height of tooth. The magnitude and distribution of magnetic flux along the bevelled surface depend on the shape of chamfer, as a rule, inappropriately make the chamfer beginning with an angle of slope to the horizontal more than  $20^\circ$ . Using a chamfer convex to air gap side instead of a uniform one allows reducing the maximum values of magnetic flux density on the surface located over chamfer. Changing the rotor length in respect of the stator core length affects the equivalent values of magnetic flux density on the separate areas of end surface at different configurations. It is necessary to note, with an increasing of chamfer rises the beneficial effect area of rotor diminution. But too much rotor diminution may be inappropriate, for example, in

turbogenerators of asynchronized type for operate in deep underexcitation modes recommends the rotor core length to take a little longer than the stator core length. It is necessary to take into account, when designing a generator the implementation of stator core with wider and smaller slots allows weakening the influence of leakage slot magnetic field on the end magnetic field.

Constructive feature of the stator core end packets unlike the active zone packets may be the slits (for the monolithic of teeth the slits are oblique, angled to the radial direction and the lamination is performed with the overlapping of segments for the cross-overlap of slits), longitudinal slots and ducts in the teeth. This is done in order to reduce the eddy current losses created in the sheets when entering the axial flux in it. In addition, an increase of slots and apertures total surface in teeth end part leads to more intensive cooling of end packets. The splitting on the entire height of tooth reduces the teeth end packets losses of a 300 MW generator by 35 % under rated load conditions and by 44 % when a power factor  $\cos \varphi \sim 1,0$  is shown in [239, 240].

The diameter of end packets boring increases with approach to the machine end zone, in other words, the stepped form of end packets teeth is used. This is achieved the round of active iron lugs in end zone of a generator and reducing the stator core end packets losses. Although the axial component leakage flux of frontal parts is greatly reduced with that much share of one enters the stator core along the height of laminated sheets tooth zone. With this always a compromise between the need of reduction the axial component leakage flux and preservation the core compression force in the tooth zone by the use of the press fingers is found. The end packets are made monolithic, that is specially pressed and baked and to some extent takes the function of additional press plates.

The presence of sharp angles and ferromagnetic parts lugs also affects the field distribution causing its local concentrations in certain areas of the end zone. Thus, the research carried out with help simulation method by Holly [241] showed the magnetic field in zone of the ferromagnetic press plate lower edge with a profile under the angle  $90^\circ$  increases by 40–50 % as compared with the field in edge zone with a round profile.

3. As a rule, all stator packets have the same width. However, the end packets with additional losses due to the end leakage flux for the goal of more intensive cooling are performed less width than in central part. The narrower ventilation ducts allow reduces the packet width and increases the air speed.

4. In quadripolar generators the values of magnetic flux density are lower than in bipolar ones.

5. As a rule, the appropriate constructive decisions should be different for generators with the main load conditions are nominal and underexcitation when a power factor  $\cos \varphi \sim -0,95$  and generators for operate in deep underexcitation modes.

6. According to results of analysis the magnetic field components of separate sources on the end packets surface and it interaction in different load conditions [242–246] for the goal of facilitate the choice of suitable variants the end zone design, the most significant are magnetic flux density components because of displacement the magnetic field from the air gap and the stator core slots, and eddy currents of press plate with shield in the under-slot zone, also because of motive-magnetic forces the stator and rotor winding frontal parts. The relative value of magnetic flux density of separate sources in the result magnetic field depends on the end zone configuration.

Provided a number of practical measures obvious in physical substantiation and aimed at improving the conditions of machine end parts when constructing new series generators. The basic ones are: reduction of total level temperature the main parts; introduction of the automatic control cooling system ensures a decrease of windings and gas temperature variations when changes a load conditions of a generator; reduction of relative length the active zone and increase the mechanical stiffness of rotor, the stator core and stator winding fastening elements.

As a rule, the operation reliability of high-use turbogenerators decreased when the use of a new auxiliary systems with own specific defects causes generator failures as a whole, that is disconnections. A turbogenerator complication with the use degree rise occurs not only due to an increase in number of auxiliary systems, but also due to the design complication of a turbogenerator main component parts – stator, rotor, housing,

etc., and is accompanied by the specific defects of these parts, typical for this system.

These defects are as following [225, 226, 229, 231, 232, 247, 248]:

- 1) Only a turbogenerator without cooling systems.
  - Defects in high-voltage stator insulation and aging insulation.
  - Fastening slackening of the stator winding and core.
  - Pressing slackening and local heat of core.
  - Presence of ferromagnetic objects into the stator.
  - Coil and housing faults in the stator winding.
  - Cracks of the rotor shaft, bandage rings and other rotor parts.
  - Damage of rotor balancing.
  - Damage of heat exchangers compactness (air- and gas-coolers, distillate coolers) and their binding elements.
- 2) A turbogenerator with hydrogen cooling system (indirect or direct).
  - Damage of stator housing gas-compactness, rotor, gas system elements.
  - Damage of oil seals and shaft.
  - Failures of gas-oil system elements.
  - Presence of oil inside a generator.
- 3) A turbogenerator with water cooling of the stator winding.
  - Damage of hydraulic tract joints compactness, including water-connecting pipes and insulation hoses.
  - Cracks in the hollow copper conductors of the stator winding.
  - Corrosion and obstruction of conductors.
  - Damage of high-voltage insulation due to moisture.
  - Failures of water cooling system elements for the stator.
- 4) A turbogenerator with water cooling of the rotor winding.
  - Damage of hydraulic tract joints compactness, including water-distribution bushings and water-inlets.
  - Cracks in the hollow copper conductors of the rotor coils.
  - Corrosion and wear of copper conductors.
  - Thermal imbalance.

The main reliability indices for turbogenerators are time between failures and readiness factor.

Average time between failures is defined as the ratio of the total operation time of an object with restoring efficiency to the mathematical expectation in a number of failures during that operation. A statistical estimate of the average time between failures for an each turbogenerator can be obtained as the ratio of the total operating time for a given period to the number of failures during this period

$$T = \frac{t_{\Sigma}}{r}, \quad (2)$$

where  $r$  is the number of failures during the total operation time  $t_{\Sigma}$ .

The readiness factor characterizes the ability of an object for required use at any time except for planned periods when its use is not provided. In the general case, it is defined as the ratio of operation time for a given period to the amount of operation and restoration time after failures during the same period

$$K = \frac{t_{\Sigma}}{t_{\Sigma} + t_{R\Sigma}}, \quad (3)$$

where  $t_{R\Sigma}$  is the time required for restoration after failures for a given period.

According to GOST 533-2000 reliability and durability indices for turbogenerators should not be lower shown in Table 6.

Table 6.

Turbogenerators reliability indices according to GOST 533-2000

Index name	Average value of index for a turbogenerator with power	
	to 350 MW	over 350 MW
Readiness factor	0,996 (99,6 %)	0,995 (99,5 %)
Time between failures, hours	22000	18000
Resource between major repairs, years	8	5
Full period operation, years	40	40

It is also used for analyze the forced downtime factor

$$q = 1 - K. \quad (4)$$

These indices fully determines the probability of unfailing operation during a given period operation  $t$

$$P_o = K \exp(-t/T). \quad (5)$$

Because the probability of a turbogenerator unfailing operation  $P_{ot}$  is defined as the product of the probability of unfailing operation  $P_{oi}$  for its component parts and auxiliary systems

$$P_{ot} = \prod_{i=1}^n P_{oi}, \quad (6)$$

it is clear that the use of each new system will be accompanied by a decrease in the probability of a turbogenerator unfailing operation as a whole, unless simultaneously the probability of unfailing operation for all or a certain number of component parts and auxiliary systems is increased accordingly. But if the  $P_{oi}$  are close to one and meet the limits of technological capabilities, that is at this stage it is impossible or entails great rise in price of  $P_{oi}$  by improvement of the design and manufacture technology, then a turbogenerator complication due to the growth of a power unit and the rise of use degree leads to the inevitable decrease of reliability operation and the rise of losses from unplanned repairs.

Reduced turbogenerators reliability with transition to a more complex design solutions related to cooling intensification is illustrated in Tables 7–9 shows the probabilities of unfailing operation  $P_{oi}$  for the main generator component parts obtained by processing the damage operational data of many machines for a series of years [231, 249]. It can be seen that the transition from air to indirect hydrogen cooling for a power 25–30 MW leads to a decrease in the probability of a generator unfailing operation  $P_{ot}$  from 0,92 to 0,78–0,82. The transition from indirect hydrogen cooling to direct hydrogen cooling of the rotor for a power 50–100 MW leads to a decrease in  $P_{ot}$  from 0,74–0,87 to 0,62–0,66.

Table 7.

Cooling type influence on the probability of  
turbogenerators unfailed operation with a power 25–30 MW

Turbogenerator component parts	Cooling type and generator type		
	Air T2-25-2	Hydrogen TGV-25	Indirect TV2-30-2
Stator	0,97	1,0	0,98
Rotor	0,97	0,98	0,99
Brush-contact apparatus	0,99	0,99	0,97
Exciter and excitation system	0,99	0,99	0,98
Gas-compactness (generator housing, pipelines, fittings, etc.)	–	0,95	0,96
Shaft oil seals and oil supply system	–	0,9	0,89
Turbogenerator as a whole	0,92	0,82	0,78

Table 8.

Cooling type influence on the probability of  
turbogenerators unfailed operation with a power 50–100 MW

Turbogenerator component parts	Cooling type and generator type				
	Indirect hydrogen			Direct hydrogen	
	TV-50-2	TV-60-2	TV2-100-2	TVF-60-2	TVF-100-2
Stator	0,99	0,98	0,98	0,95	0,96
Rotor	0,98	0,98	0,97	0,99	0,97
Brush-contact apparatus	0,98	0,96	0,97	0,95	0,94
Exciter and excitation system	0,99	0,96	0,93	0,95	0,91
Gas-compactness (generator housing, pipelines, fittings, etc.)	0,97	0,97	0,91	0,9	0,9
Shaft oil seals and oil supply system	0,96	0,86	0,95	0,79	0,86
Turbogenerator as a whole	0,87	0,74	0,74	0,66	0,62
as a whole without exciter and excitation system	0,88	0,77	0,80	0,7	0,68
as a whole without seals and gas system	0,94	0,88	0,86	0,85	0,8

Table 9.

Cooling type influence on the probability of  
turbogenerators unfailing operation with a power 150–300 MW

Turbogenerator component parts	Cooling type and generator type			
	Direct hydrogen		Direct hydrogen plus water cooling of the stator winding	
	TGV-200	TGV-300	TVV-165-2	TVV-200-2
Stator	0,96	0,97	0,87	0,78
Rotor	0,92	1,0	0,99	1,0
Brush-contact apparatus	0,9	0,54	0,86	0,93
Exciter and excitation system	0,79	0,8	0,86	0,95
Gas-compactness (generator housing, pipelines, fittings, etc.)	0,75	0,68	0,74	0,93
Shaft oil seals and oil supply system	0,8	0,84	0,75	0,86
Turbogenerator as a whole	0,38	0,24	0,34	0,55
Stator and rotor	0,88	0,97	0,86	0,78

The transition influence to stator water cooling with direct hydrogen cooling of the rotor for turbogenerators with a power 150–300 MW can only be estimated by eliminating the influence of the sharp difference  $P_{oi}$  for excitation systems, brush-contact apparatus and other component parts for turbogenerators of different types. For that end in view can compare  $P_o$  for the «rotor-stator» complex: this value is 0,88–0,97 without water cooling of the stator winding (for TGV-200, TGV-300) and decreases to 0,78–0,86 with water cooling of the stator winding (TVV-165-2, TVV-200-2).

Very volumetric data in 1993–2005 and 2006–2010 years (after operating time) for a large group of turbogenerators with a power 165, 200, 300 MW are given in [249]. According to these data the average specific ungenerate electricity due to stator defects is calculated (Table 10). For turbogenerators with hydrogen cooling of the stator winding the specific ungenerate in 2006–2010 years was 2 kW·h/gen.yr, and for turbogenerators with water cooling of the stator winding – 4,7 kW·h/gen.yr, that is more than twice. The average values for the whole period from 1993 to 2010 years



were 5,6 and 6,9 kW·h/gen.yr, respectively, that is 23 % higher with direct water cooling against gas.

Table 10.

The average specific ungenerate electricity  
due to stator defects for turbogenerators different types

Generator type and stator winding cooling	1993–2005 years		2006–2010 years		Total	
	Ungenerate, kW·h/yr	Number of turbo-generators	Ungenerate, kW·h/yr	Number of turbo-generators	Ungenerate	
					kW·h/yr 1993–2005	per 1 generator 2006–2010
Direct hydrogen						
TGV-200	293,7	74	104,9	84		
TGV-300	691,5	66	203,9	69		
As a result	985,2	140	308,8	153	7,04	2,02
Average magnitude					5,6	
Direct water						
TGV-200M	344	15	38,2	26		
TVV-165-2	261,1	64	418,5	68		
TVV-200-2	445	13	119,2	13		
TVV-200-2A	35,3	15	51,2	23		
TVV-320-2	230,5	62	322,3	69		
As a result	1315,9	169	949,4	199	7,78	4,77
Average magnitude					6,9	

It is stated in [249] that for turbogenerators with a power 200–1000 MW the lowest forced downtime factor  $q = 0,2–0,3$  % has generators 200–300 MW with hydrogen cooling,  $q$  increases to 0,5 % and more for a power 200–500 MW and higher with stator hydrogen-water cooling and rotor hydrogen cooling,  $q$  increases significantly above 0,5 % (normal) and reaches 1–2 % and more for turbogenerators with rotor water cooling. Foreign statistics gives quantitatively similar results (Figure 6).

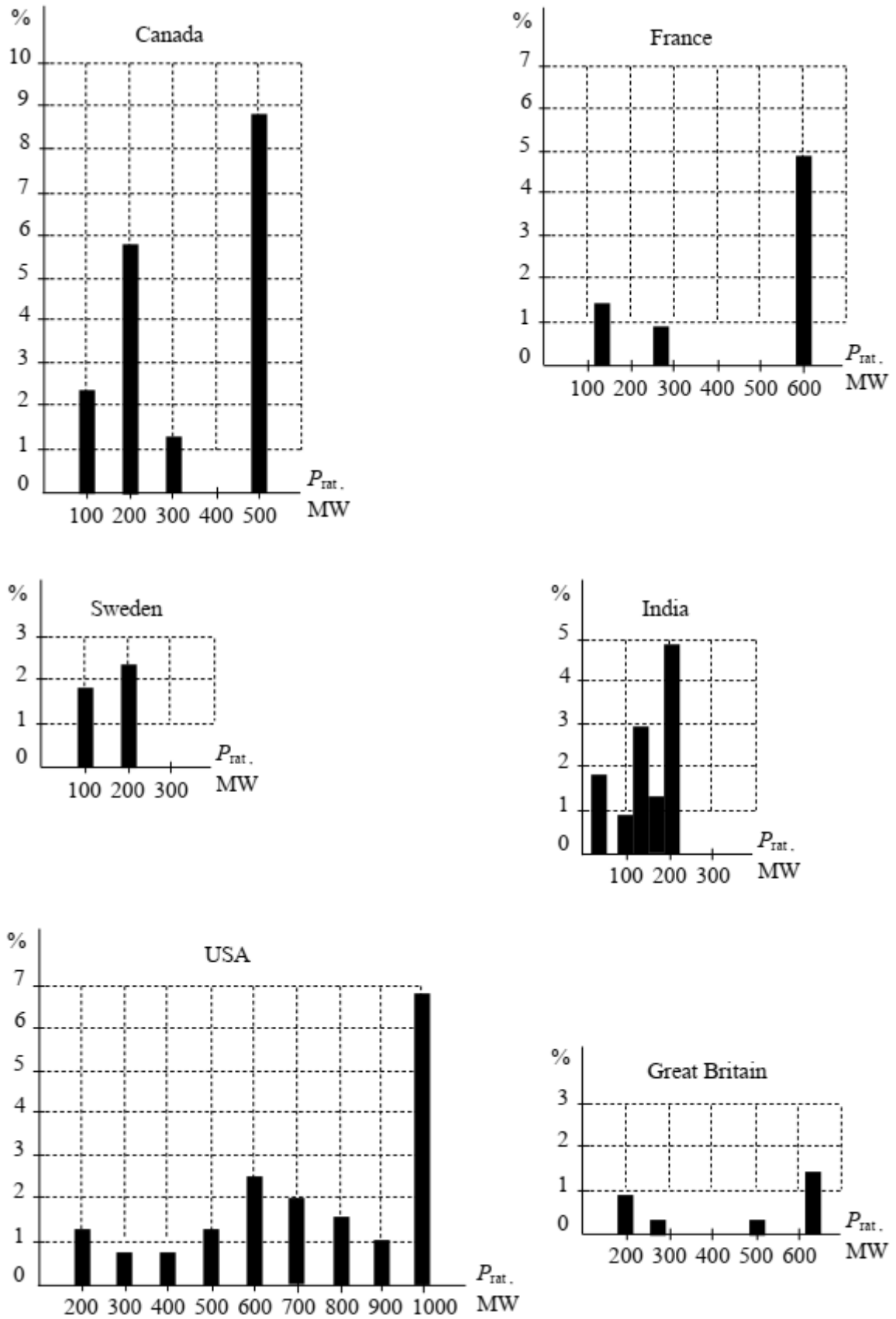


Figure 6. The relative duration of turbogenerators forced downtime

Thus, a turbogenerator design complication and the use of new auxiliary systems for the cooling intensification with increasing power unit leads to the decrease of generator reliability [228, 237, 250]. Therefore, the system and methods control and diagnostics of generators main component parts (SCDG) for compensate this decrease in the reliability of turbogenerators were developed. The purpose of SCDG is early detection of progressive errors in the operation of generators component parts and auxiliary systems that can causes forced disconnections and large losses, as well as timely elimination of these errors, for example during planned-preventive repairs. The effective functioning of SCDG increases the operation reliability ( $P_{oi}$ ) of generators component parts and auxiliary systems and therefore economically advisable, despite the need of the cost for creation and maintenance of SCDG on conditions that SCDG have the high reliability and the low probability of false diagnoses. Another way for ensure reliability with complication of a turbogenerator and auxiliary systems is reserve. So, it is necessary to reserve unreliable excitation systems due to the low quality of component parts and the large quantity of systems elements. Finally, the third way for ensure reliability is simplification of the main component parts design and non-use in a number of auxiliary systems with help return to less efficient cooling on conditions that it ensures given power unit with a modern technical solutions [243–246]. In this case, the inevitable reconsideration of the approaches and criterions previously adopted from the standpoint of economic efficiency (for example, specific losses reduction per 1 kW of installed power) towards the increase in reliability and the reduction in price of maintenance, even if are material use deterioration and efficiency reduction.

At present developed a lot of different convenient simulation software for computer calculations and design of electromechanical energy converters, in particular powerful turbogenerators. The most well-known complexes are FEMLAB, ANSYS, MAXWEL and COMSOL Multiphysics. The COMSOL Multiphysics software [251] deserves special attention, because used today in many universities of the world, as well as the professional researchers of various fields.

The most significant advantage of COMSOL Multiphysics software is the ability to solve multiphysical problems allows creating the complex (interrelated)

mathematical models. Also an important advantage is the simplicity of interface in a coefficient form, that enables the researcher to simulate of physical processes without focusing directly on the solving of differential equations, while paying serious consideration to variation calculations (experiments) for solving of set tasks [252].

As known, the construction of mathematical models for analysis the physical processes in end zone of a powerful turbogenerator is very problematic [239, 253–258], because the difficult of this problem makes researcher to use a series of simplifications in the task formulation, suitable in some cases and unsuitable for others, as a result obtained solutions often too approximately describe the conformity to natural laws of electromagnetic field distribution.

A three-dimensional model have not found wide application because of complexity the end zones design of powerful generators requires very much computing trouble and even with modern computer technology needs a series of simplifications, also because the formation of meaningful and sufficiently detailed conclusions concerning parameters and characteristics of the object requires a large number of variation calculations [253]. Therefore, used an approach for the analysis of heat processes in the stator core end zone of a turbogenerator with help a consecutive logic transition from the solution of a simple calculation model the electromagnetic field in active part machine to more difficult calculations models in end zone using the previous results in the following, that allows to obtain a solution for determination of temperature distribution in difficult areas. The use of specialized software for development of mathematical model allowed creating a one that is sufficiently flexible in terms of modification the individual components and allows the researcher to concentrate on achieving of set goal, rather than solve of utilitarian tasks.

As a research object, a serial turbogenerator type TGV-500 of 500 MW capacity (by Kharkov State Enterprise plant "Electrowazhmash") is considered. The presence of experimental data [239, 256, 259] allows correction the accuracy of electromagnetic and thermal calculations and simplification the heat calculation due to known heat transfer coefficients.

A staged construction algorithm of a mathematical model is as following.

On the first stage, a two-dimensional electromagnetic field model in transversal section of central (active) zone of a turbogenerator is considered (Figure 7).

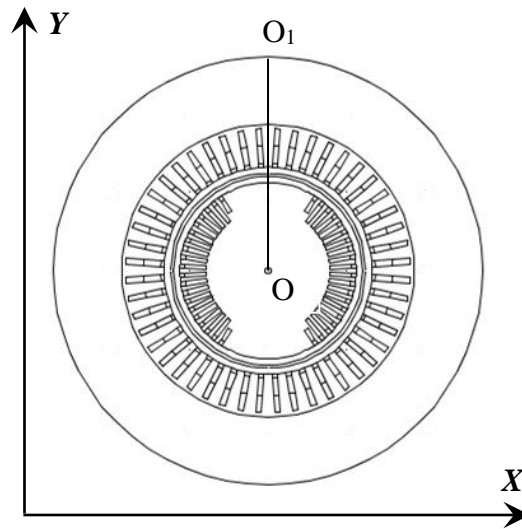


Figure 7. The calculation area of a turbogenerator central zone

In general case the equation of a two-dimensional electromagnetic field for the axial component of the magnetic vector potentials  $A_z$  will be:

$$j\omega\sigma A + \nabla \times (\mu_0^{-1}\mu_r^{-1}\nabla \times A) = J_z^e e_z, \quad A = A_z e_z, \quad (7)$$

where  $\omega$  is the angular frequency;  $\sigma$  is the electric conductivity;  $\nabla$  is the Hamilton operator;  $\mu_0$  is the permeability of vacuum;  $\mu_r$  is the relative permeability;  $A$  is the magnetic vector potential;  $J_z$  is the external current density;  $e_z$  is the unit vector.

Since the stator core is laminated of sheets the high-alloy cold-rolled electrical steel with a thickness 0,5 mm, eddy current from the radial field can be neglected. The calculation of additional losses in the stator end packets of a turbogenerator with acceptable accuracy can be made only for the axial component of the magnetic flux density. So, the electromagnetic field of a turbogenerator central part in the Cartesian coordinate system satisfies the Poisson equation and, in this case, the well-known model [260] is considered:

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} = -\mu J_z. \quad (8)$$

Equation (8) is supplemented by next boundary condition on the outside of solving region:

$$A_z|_G = 0 \quad (9)$$

and continuity condition for the magnetic flux on the inside of solving region.

In the stator winding taken a symmetric system of phase currents [253, 254]:

$$\begin{cases} i_A = I_m \cos(\omega t + \beta) \\ i_B = I_m \cos(\omega t + \beta - 120^\circ), \\ i_C = I_m \cos(\omega t + \beta + 120^\circ) \end{cases} \quad (10)$$

where  $I_m$  is the magnitude of stator current;  $\beta$  is the angular displacement of axis along which operates the motive-magnetic force of three-phase stator winding in relation to the longitudinal axis of rotor  $d$ .

The angle  $\beta$  is determined by the formula:

$$\beta = 90^\circ + \theta + \varphi, \quad (11)$$

where  $\theta$  is the load angle of a machine;  $\varphi$  is the phase displacement between voltage and stator current.

The load angle  $\theta$  can be found from the equation [239]:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{I_s \cos \varphi}{(U_s / x_d) \pm I_s \sin \varphi}, \quad (12)$$

where  $I_s$ ,  $U_s$  are the phases stator current and voltage, respectively;  $x_d$  is the main inductive resistance; the «plus» sign corresponds to overexcitation mode of a turbogenerator, and the «minus» is underexcitation mode.

The magnitude of currents in the stator and rotor windings and the angle  $\beta$  are given in accordance with the load conditions of a turbogenerator.

The model takes into account the rotor movement relative to the stator. The rotation is simulated using a Moving Mesh (ALE). The displacement of the finite-element mesh is given by the transformation equation:

$$\begin{cases} dx = \cos(2\pi n t) \cdot X - \sin(2\pi n t) \cdot Y - X \\ dy = \sin(2\pi n t) \cdot X + \cos(2\pi n t) \cdot Y - Y \end{cases} \quad (13)$$

where  $dx$ ,  $dy$  are the displacement along  $x$  and  $y$  coordinates, respectively;  $X$ ,  $Y$  are the coordinates of initial points;  $n$  is the speed of rotation.

The expression in brackets is the certain angle (in radians), and time  $t$  is the parameter by which the rotor does movement on angle  $(2\pi n t)$  relative to the initial

position. A static calculation is performed, and one fixed position of rotor and fixed magnitude of currents in the windings (at  $t=0$ ) are considered, the results of which then used as initial conditions for the dynamic effect (more precisely, the parametric calculation). In this case, the Poisson equation does not depend on time, its solution is determined by the instantaneous values of currents in the windings and the geometry of solving region, which varies because of displacement of rotor coordinates.

After calculated the electromagnetic problem individually solves the problem of the eddy currents distribution from the main radial field for each massive element of a turbogenerator (press plate, press fingers, copper shield), and it's the average magnitude is used for calculation the thermal problem.

On the second stage, in consideration of the electromagnetic field distribution in central part, the electromagnetic field in longitudinal section is simulated (Figure 8). Taking into account the symmetry of a machine along axial and radial directions, the calculation area of end zone is considered as the rotor section along its axis and the section of the stator core tooth in the tangential direction [257, 258]. This section coincides with the rectangular coordinate plane  $XY$  and is the symmetry plane of rotor (in Figure 7 it passes along the radius  $OO_1$ ).

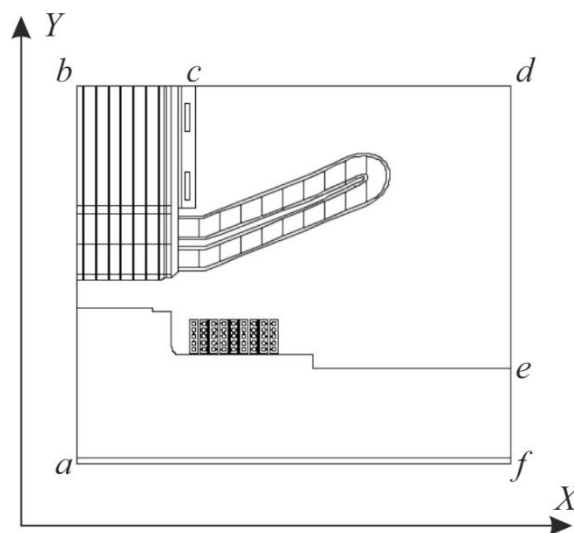


Figure 8. The calculation area of a turbogenerator end zone

The equation of a two-dimensional magnetic field for the component  $A_z$  (is tangential component in the solving region) has the form (7). The required structure lines of force

for electromagnetic field are formed by means of boundary conditions complex on lines  $abcdef$  for the magnetic vector potentials and magnetic field (Figure 8).

On the line  $bc$  installed the magnitude of magnetic field in the point  $O_1$  (Figure 7):

$$H|_{bc} = H|_{O_1}, \quad (14)$$

and on the line  $af$  – condition of symmetry the magnetic field concerning rotor axis:

$$n \times H|_{af} = 0. \quad (15)$$

Along the line  $ab$  installed the distribution of magnetic field, a similar to the distribution along the same line in transversal section (lines  $OO_1$ , Figure 7):

$$H|_{ab} = H(r)|_{OO_1}. \quad (16)$$

It is assumed that for remote the lines  $cd$ ,  $de$  and  $ef$  the magnetic field fails, so on the lines installed:

$$A_z|_{cdef} = 0. \quad (17)$$

At the same time installed the distribution of magnetic permeability along the radius  $OO_1$  –  $\mu|_{OO_1}$ , which varies due to different saturation of stator magnetic core because of the radial field.

Thus, the interconnection of electromagnetic fields in the central and end zones of a turbogenerator is installed. The effect of load condition is taken into account by the magnitude of currents in the stator and rotor windings, angle  $\beta$  and boundary conditions.

An important stage for calculation of electromagnetic field in the end part is the description of currents in the winding frontal part. The proposed model of a turbogenerator end zone allows description of currents in the stator winding frontal part considering the geometric shape of frontal connections and, most importantly, the load condition [242, 261]. The direction of instantaneous phase currents  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$  of the stator winding frontal part and a portion of its scheme (together with section  $OO_1$ ) is shown in Figure 9. The currents in the winding frontal part (Figure 9) less than taken in the system (10) at  $\sqrt{2}$  time, since the front parts are bent an average on  $45^\circ$ . Since the longitudinal section of a turbogenerator passes along the longitudinal axis of rotor  $d$



(Figure 7), the magnitude of current density for the rotor winding frontal part corresponds to the given excitation current.

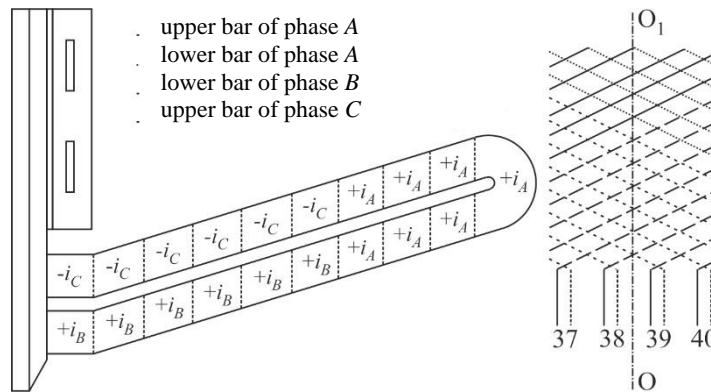


Figure 9. The instantaneous phase currents of the stator winding frontal part and a portion of winding along the section

The electromagnetic calculation is performed for the whole of solving region.

Individually solves the problem of eddy currents distribution from the axial magnetic fluxes of windings frontal parts. Since the rotor moves synchronously with the field, non-zero conductivity is given in the stator core packets, press finger, copper shield and press plate.

Taking the obtained results of electromagnetic calculation as a source of heat losses, the problem of distribution temperature is solved.

The equation of a two-dimensional stationary temperature field is given by equations:

$$\nabla(-k\nabla T) = Q, \quad (18)$$

where  $k$  is the thermal conductivity;  $T$  is the temperature;  $Q$  is the heat source.

The heat calculation is performed for only in the stator core end zone.

A turbogenerator under consideration has a radial ventilation system. Cold hydrogen is fed into the radial channels between the stator packets and between the press fingers and the press plate from side of the gap with the further movement towards the stator yoke.

The boundary conditions are installed. Heat transfer to the environment is carried into effect by means of convective heat exchange between a heated surface and a stream of cooling hydrogen. The general equation has the form:

$$-\vec{n} \cdot \vec{q} = q_0 + h(T_{\text{inf}} - T), \quad (19)$$

where  $h$  is the heat transfer coefficient,  $T_{\text{inf}}$  is the external temperature.

Installed the next boundary condition for the water circulating in the cooling channels of the press plate and the stator winding frontal part:

$$T = T_0. \quad (20)$$

Installed the boundary condition of symmetry on line passes in the middle of the last ninth packet of solving region:

$$\vec{n} \cdot (k \nabla T) = 0. \quad (21)$$

The finite element mesh is the same for both the electromagnetic and thermal problems.

In order to verify the reliability of developed algorithm was performed a control calculation and comparison for obtained temperature values in the end zone of a turbogenerator type TGV-500 under rated load conditions in accordance with the experimental data for temperature field of the stator core end packet and the heat transfer coefficients [239, 256, 259].

The heat transfer coefficients [in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ] for a turbogenerator type TGV-500 have the following values [239, 256, 259], Figure 10:

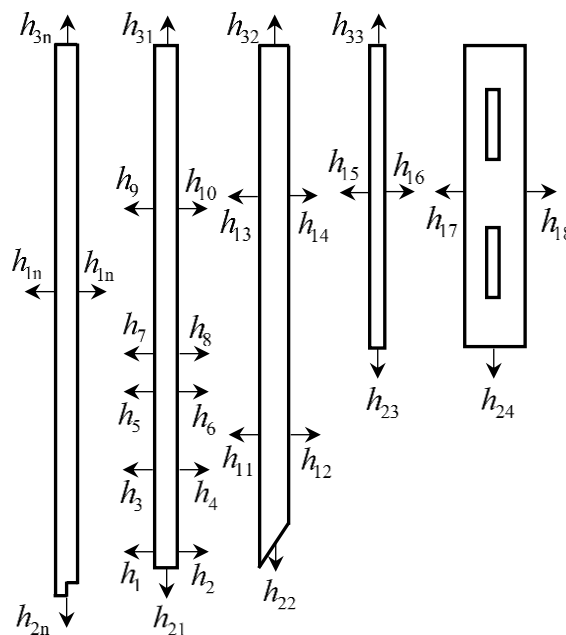


Figure 10. The heat transfer coefficients for a turbogenerator type TGV-500

– for the end packet:

$$h_1 = 474; h_2 = 332; h_3 = h_5 = h_7 = 354; h_4 = h_6 = 248; h_8 = 225; h_9 = 221; h_{10} = 209; \\ h_{21} = 1330; h_{31} = 205;$$

– for the press finger:

$$h_{11} = h_{12} = 280; h_{13} = h_{14} = 243; h_{22} = 1280; h_{32} = 243;$$

– for the copper shield:

$$h_{15} = h_{16} = h_{23} = 280; h_{33} = 243;$$

– for the press plate:

$$h_{17} = 280; h_{18} = 200; h_{24} = 384;$$

– averaged value for the other packets:

$$h_{1n} = 241; h_{2n} = 1000; h_{3n} = 200.$$

With help a mathematical simulation according to the given algorithm (7)–(21) for a turbogenerator type TGV-500 under rated load conditions the following results were obtained.

The instantaneous distribution of magnetic flux density and vector magnetic potential in a turbogenerator central zone (for  $t = 0,02$  sec corresponding to one full revolution of the rotor, the step size of time is  $1^{-4}$  sec, that is, at one step the rotor turns to  $1,8^\circ$ ) is shown in Figure 11. The distribution of magnetic permeability is shown in Figure 12. As can be seen in this figure, the maximum value is 8542 and appears in the stator yoke.

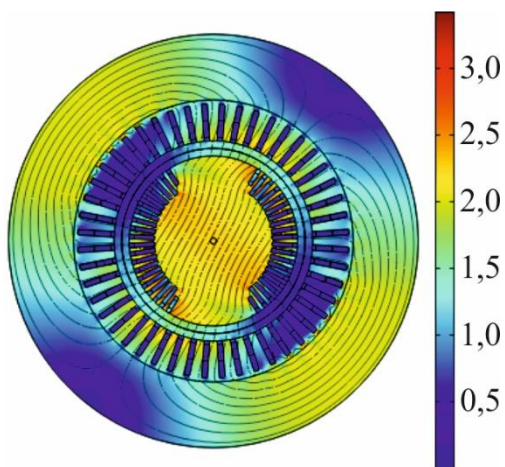


Figure 11. Electromagnetic field distribution in the central zone of a stator and a rotor under turbogenerator rated load conditions

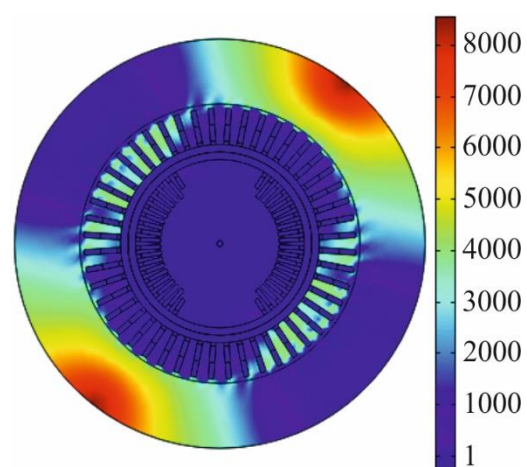


Figure 12. Magnetic permeability distribution in the central zone of a stator and a rotor under turbogenerator rated load conditions

As can be seen in Figure 13, the maximum magnetic flux density of the stator core is 3,4 T and appears in the tooth crown, the magnetic field distribution is symmetrical along the pole central line and the maximum values appears in the pole central line [258]. The distribution of magnetic flux density in the press fingers is shown in Figure 14. The magnetic flux density values of the non-magnetic steel fingers are lower and the maximum value is 0,53 T.

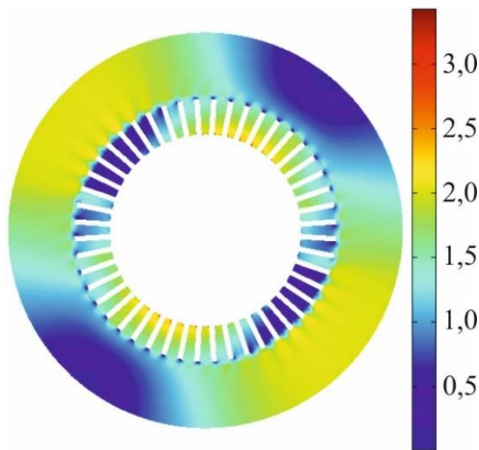


Figure 13. Magnetic flux density distribution in the stator core under turbogenerator rated load conditions

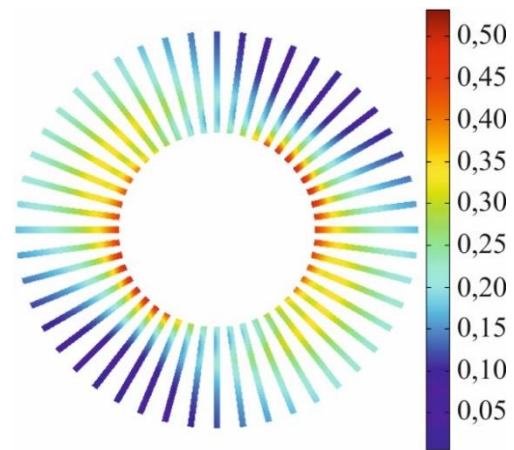


Figure 14. Magnetic flux density distribution in the press fingers under turbogenerator rated load conditions

The press plate and the copper shield materials are nonmagnetic too, and the press plate is before to the copper shield. So, their magnetic field distributions are coincident [258]. The maximum magnetic flux densities are 0,36 T and 0,33 T, respectively (Figures 15 and 16).

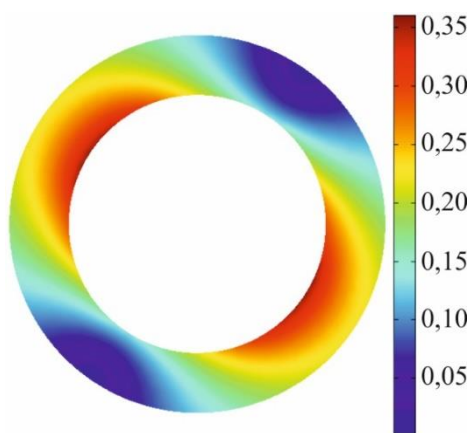


Figure 15. Magnetic flux density distribution in the press plate under turbogenerator rated load conditions

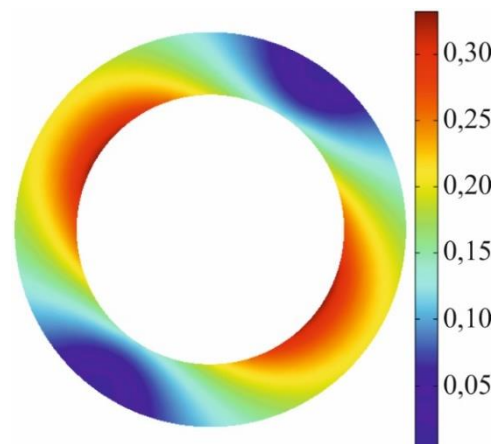


Figure 16. Magnetic flux density distribution in the copper shield under turbogenerator rated load conditions

Figures 17, 18 and 19 show the eddy current density distribution from the main radial field in the press fingers, the press plate and the copper shield. For the good conductivity of the copper, the eddy current value of the copper shield is much larger than that of the non-magnetic press fingers and press plate [258].

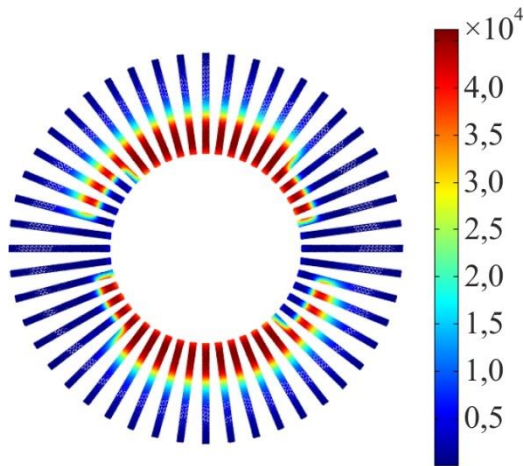


Figure 17. Eddy current density distribution in the press fingers under turbogenerator rated load conditions

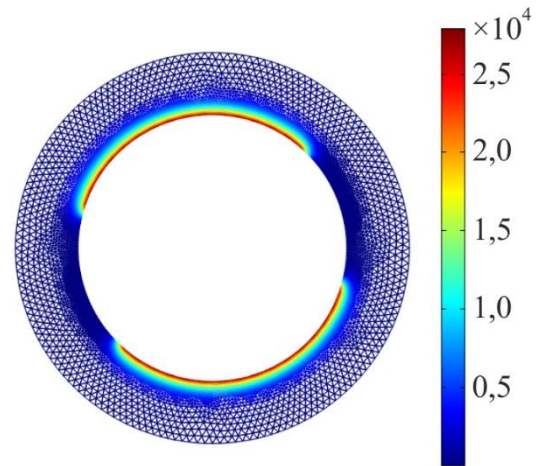


Figure 18. Eddy current density distribution in the press plate under turbogenerator rated load conditions

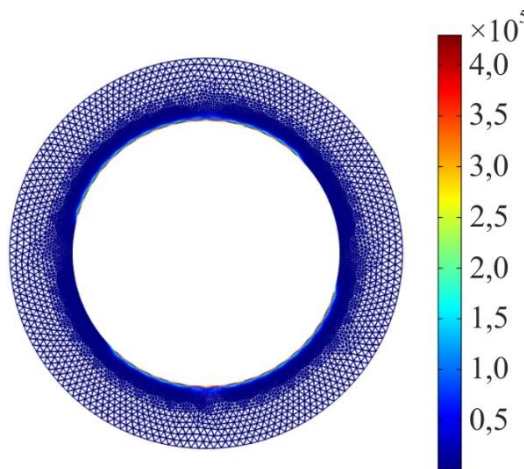


Figure 19. Eddy current density distribution in the copper shield under turbogenerator rated load conditions

The instantaneous distribution of magnetic flux density and vector magnetic potential in a turbogenerator end zone is shown in Figure 20. Temperature distribution in the stator core end zone is shown in Figure 21. As can be seen in this figure, the maximum temperature in the tooth root of stator end packet is 97 °C, the press plate is 91 °C, the copper shield is 86 °C and the press finger is 85 °C.

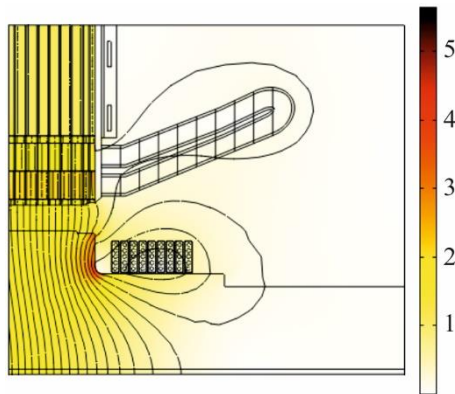


Figure 20. Electromagnetic field distribution in the end zone of a stator and a rotor under turbogenerator rated load conditions

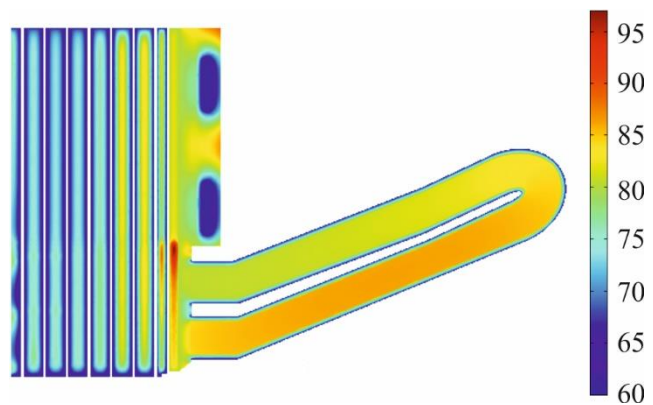


Figure 21. Temperature distribution in the stator core end zone under turbogenerator rated load conditions

The maximum temperature in the end packet tooth zone is explained by the combined effect of the main radial field, the axial leakage flux of the windings frontal parts of a stator and a rotor, as well as by the «displaced» portion of the main field from the air gap and the stator core slots. In addition, the shield effect of the press plate is cause of local concentration for electromagnetic field in the end packet tooth zone. Temperature distribution in the press plate depends on the channels with cooling water. However, they are effective only in beside the plate. With the distance from the end packet tooth zone towards the stator yoke, the temperature sharply decreases due to the shield effect of the press plate and the copper hoop. The temperature also decreases with approach to the gap. The axial component of magnetic flux density in the tooth crown is 0,70–0,75 T (the end packet), however, this zone is intensively cooled with gas circulating in the gap.

In order to verify the reliability of obtained results was performed a comparison for temperature values in the end zone of a turbogenerator type TGV-500 under rated load conditions in accordance with the experimental data [239, 256, 259]. The experimental data corresponds to the stationary heat of stator core end packet from the turbine side at section 1/8 width of packet along the axis of a turbogenerator. The differences of calculated and experimental values did not exceed 7 % (Table 11), indicating a high reliability of the applied approaches and assumptions.

Table 11.

Calculation results and experimental data corresponds to the stationary heat of stator core end packet for a turbogenerator type TGV-500

Source of information	Temperature, °C			
	Tooth			Yoke
	Crown	Middle	Root	Middle
Nominal load condition ( $P = 495 \text{ MW}$ , $\cos \varphi = 0,848$ )				
Calculation, °C	50,9	51,25	72,37	56,63
Experiment, °C	–	54,90	76,20	53,70
Error, %	–	6,65	5,03	5,46

Thus, the algorithm, detailed mathematical description and solution of a quasi-three-dimensional task for determination of electromagnetic field and temperature distributions in the stator core end zone of a powerful turbogenerator using a numerical method were presented. A mathematical model differs from are known more complete account of the physical factors and the high accuracy of the calculation results with a relatively simple the software implementation.

### Conclusions

Modern level of technology, stored experience of operation and researches for power turbogenerators, the use more improved materials (stator and rotor winding insulation, electrotechnical steel, etc.) and cooling systems allows building high-power generators with air or air-water cooling, and also with full water cooling, that provide fire and explosion protection of electric power station. For all this it is necessary take into account the maximum simplicity principle for construction and maintenance, the minimum number of auxiliary systems and the maximum reliability.

The end zone shielding, using the stepped end packets of stator core, the chamfer for end packets teeth of stator core, the longitudinal slits for end packets teeth, using the magnetic shunts and others are the main constructive methods for reduction the eddy currents losses and improvement the cooling of powerful generators end zone. Taking into account the considerable unevenness of electromagnetic and heat loads of

generator constructive units especially end parts of the stator and the rotor, tends to rise with increase of generators unit capacity, these methods solves a limited field of tasks from general problem.

A turbogenerator design complication and the use of new auxiliary systems for the cooling intensification with increasing power unit leads to the decrease of generator reliability. Therefore, the system and methods control and diagnostics of generators main component parts for compensate this decrease in the reliability of turbogenerators were developed. Another way for ensure reliability with complication of a turbogenerator and auxiliary systems is reserve. Finally, the third way for ensure reliability is simplification of the main component parts design and non-use in a number of auxiliary systems with help return to less efficient cooling on conditions that it ensures given power unit with a modern technical solutions.

The advantages of constructing models in COMSOL Multiphysics software are shown. The most significant advantages are the ability to solve multiphysical problems, the interface simplicity, the easiness simulation and powerful visualization.

A quasi-three-dimensional mathematical model of coupling calculation for electromagnetic field and temperature distributions of a powerful turbogenerator end zone is developed. A mathematical model differs from are known more complete account of the physical factors and the high accuracy of the calculation results with a relatively simple the software implementation. In particular, a method for calculating electromagnetic field of a turbogenerator end zone is developed, which allows description the currents of stator winding frontal part considering geometric shape of frontal connections and, most importantly, the load condition of a turbogenerator. It is important to emphasize, that all known today a quasi-three-dimensional models the end zone of a powerful electrical machine have a homogeneous character of stator winding frontal part.

The presented mathematical model allows evaluation the efficiency of design solutions for the stator end zone of a turbogenerator under different load conditions, including the conditions of reactive power consumption.



## 4.2 Перспективи розвитку електрогенеруючих потужностей України

Загальна встановлена потужність електричних станцій ОЕС України станом на 31.12.2021 р. (без урахування енергогенеруючих об'єктів Кримської електроенергетичної системи та тимчасово неконтрольованої території Донецької та Луганської областей) складає 56,247 ГВт, з яких 49,7 % припадає на теплові електростанції (зокрема, ТЕС, ТЕЦ, блок-станції), 24,6 % — на атомні електростанції, 11,2 % — на гідроелектростанції та гідроакумуючі електростанції, 14,5 % — на електростанції, що працюють на відновлюваних джерелах енергії — ВЕС, СЕС, БіоЕС.

Основні генеруючі потужності ОЕС України (станом на 31.12.2021 р.) зосереджені на: чотирьох атомних електростанціях (15 енергоблоків, з яких: 13 - потужністю по 1 000 МВт; і 2 - потужністю 415 та 420 МВт відповідно); 10 гідроелектростанціях на річках Дніпро, Дністер, Південний Буг, а також на річках Тересля і Ріка (Тересля-Ріцька гідроелектростанція) загальною встановленою потужністю близько 4729,5 МВт із загальним числом гідроагрегатів 101 одиниця. А також на 3-х гідроакумуючих станціях потужністю 1487,8 МВт із загальним числом гідроагрегатів 11 одиниць (одиночною потужністю від 33 до 324 МВт); 12 ТЕС із блоками одиночною потужністю 150, 200, 300 і 800 МВт (75 енергоблоків, у тому числі потужністю: 150 МВт — 6, 200 МВт — 31, 300 МВт — 32, 800 МВт — 6 одиниць) та 3 турбогенератора, а також 3-х великих ТЕЦ з енергоблоками 100 (120) МВт — 4 блоки, та 250 (300) МВт — 5 блоків; станціях на ВДЕ (включаючи станції на біопаливі) загальною потужністю 8 148 МВт, серед яких найбільші за встановленою потужністю «Сиваська ВЕС» (245,7 МВт, з низки причин фактична потужність станції є значно меншою), «Покровська СЕС» (240 МВт), «Солар Фарм-1» (200 МВт), «Ботієвська ВЕС» 1-65 черги (199,875 МВт), «Мирненська ВЕС» 1–6 черги (163 МВт), а також низка менш потужних.

На більшості енергоблоків АЕС встановлені реактори серії ВВЕР-1000 (моделі В-320), які за технічними характеристиками подібні до закордонних

реакторів типу PWR. Станом на кінець 2021 року 12 енергоблоків відпрацювали свій нормативний 30-річний ресурс, термін експлуатації 11 з них вже подовжено на 10–20 років, очікується прийняття рішення з подовження терміну експлуатації ще одного енергоблоку. У середньостроковій перспективі закінчиться нормативний термін експлуатації ще 3-х атомних енергоблоків (ЗАЕС–6 — у 2026 році, РАЕС– 4 та ХАЕС-2 — у 2035 році). Одним із пріоритетних завдань діяльності експлуатуючої організації-оператора АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом» є продовження термінів експлуатації діючих енергоблоків. Встановлена діючими ліцензіями регулюючого органу тривалість додаткового строку експлуатації енергоблоків АЕС становить від 10 до 20 років і визначається в кожному конкретному випадку за результатами виконання переоцінки безпеки.

Гідроенергетика відіграє винятково важливу роль у функціонуванні української енергосистеми, оскільки ГЕС і ГАЕС є фактично єдиним джерелом її пікових потужностей, крім того, гідроакumuлюючі електростанції роблять неабиякий внесок у згладжування нічних «провалів» споживання електричної енергії.

Найбільшою генеруючою компанією з гідроресурсів в Україні є ПрАТ «Укргідроенерго». До складу компанії входять дев'ять станцій на річках Дніпро — Київська ГЕС (440 МВт), Канівська ГЕС (500 МВт), Кременчуцька ГЕС (687,4 МВт), Середньодніпровська ГЕС (388 МВт), Дніпровська ГЕС (1 563,1 МВт), Каховська ГЕС (343,2 МВт), Київська гідроакumuлююча електростанція (ГАЕС) (213,8 МВт) і Дністер — Дністровська ГЕС (702 МВт) та Дністровська ГАЕС (1 296 МВт), перша (972 МВт) і друга (324 МВт) черги якої введені в експлуатацію, третя (972 МВт) — планується. Також в складі ОЕС України працює Ташлицька ГАЕС (302 МВт, оператор — ДП «НАЕК «Енергоатом»), спорудження якої триває (у 2022 році очікується завершення будівництва 2-ої черги у складі 3-го гідроагрегату потужністю 151 МВт, а загальна проектна потужність станції передбачається на рівні 906 МВт), і яка є однією зі складових Південноукраїнського енергокомплексу. Інші ГЕС, що працюють в складі ОЕС України, мають загальну встановлену потужність 193 МВт.

Технологічну основу генеруючих потужностей у тепловій енергетиці складають пиловугільні енергоблоки критичних параметрів пари потужністю 150–200 МВт, а також пиловугільні та газомазутні енергоблоки з надкритичними параметрами пару потужністю 300 та 800 МВт на конденсаційних електростанціях. Більшість електростанцій з енергоблоками 150 МВт збудовано та введено в експлуатацію в 1959–1964 роках, 200 МВт — у 1960–1975 роках, 300 МВт — у 1963–1988 роках і 800 МВт — у 1967–1977 роках. Станом на 31.12.2021 р. ТЕС ГК налічується 75 енергоблоків загальною встановленою потужністю 21 562 МВт: 68 вугільних блоків потужністю 16 962 МВт, у тому числі: 6 блоків в консервації та 1 блок в реконструкції (нижче наведена розбивка з урахуванням переведення блоків на спалювання вугілля марки ГД): 23 блоки, що спалюють вугілля марки АШ і П потужністю 6 439 МВт (5 бл. потужністю 1 280 МВт перебувають в стані консервації); 45 блоків, які працюють на вугіллі марки ГД потужністю 10 523 МВт (4 блок потужністю 935 МВт в стані консервації); 7 газомазутних блоків потужністю 4 600 МВт (1 блок 800 МВт в консервації). За останні 4 роки газомазутні енергоблоки до роботи в ОЕС України не залучалися (крім одного блоку потужністю 300 МВт на Трипільській ТЕС). Станом на кінець 2021 року проведено реконструкцію близько 20 % енергоблоків теплових станцій, однак питання приведення їх екологічних показників роботи до сучасних вимог лишилися не вирішеними, а дещо покращені маневрені характеристики і досі лишаються недостатніми для сучасних потреб ОЕС України. Відсутність визначених механізмів фінансування заходів екологічної модернізації, передбачених НПСВ, у короткостроковій перспективі призведе до суттєвого скорочення потужності ТЕС. Решта блоків підтримується в працездатному стані за рахунок проведення капітальних та поточних ремонтів, але їх зношеність постійно зростає і сягає загрозливої межі з точки зору можливості їх подальшої експлуатації без здійснення реконструкції.

Блочні ТЕЦ України представлені трьома електростанціями (Київська ТЕЦ-5, Київська ТЕЦ-6 та Харківська ТЕЦ-5), на яких встановлені енергоблоки з теплофікаційними турбінами Т-100/120- 130, Т-110/120-130 і Т-250/300-240

сумарною потужністю 1 670 МВт в теплофікаційному режимі роботи та 1 980 МВт — в конденсаційному. Значною в Україні є встановлена потужність ТЕЦ і когенераційних установок — 6 070 МВт, основна частина потужності яких припадає на ТЕЦ, що працюють на природному газі. Основна частка ТЕЦ має фізично зношене та морально застаріле обладнання. Через втрату теплових навантажень у багатьох випадках відпуск електричної енергії на ТЕЦ є не оптимальним з точки зору фактичної потреби споживачів у тепловій енергії, що призводить до високих витрат палива на виробництво електричної і теплової енергії в теплофікаційному режимі.

Впродовж останніх років посилюються тенденції розвитку відновлюваної енергетики (пік інвестицій у будівництво об'єктів відновлюваної енергетики припав на 2019 рік). За наявною інформацією потужність об'єктів електроенергетики, які використовують відновлювані джерела енергії для виробництва електричної енергії, у 2019 році склала 4,722 ГВт. Протягом 2020 року було додатково введено в експлуатацію об'єктів відновлюваної енергетики потужністю 1,95 ГВт, а у 2021 році — ще близько 1,45 ГВт. Тим не менш, через наявність карантинних обмежень внаслідок поширення COVID-19, а також з низки економічних причин, не всі об'єкти, заплановані до введення впродовж року були введені в експлуатацію.

Розвиток відновлюваної енергетики демонструє стабільну тенденцію зростання. Останніми роками спостерігається постійне підвищення кількості введених в експлуатацію об'єктів відновлюваної енергетики. Зазначена динаміка розвитку відновлюваної енергетики призводить до зростання прогнозного відпуску електричної енергії в ОЕС України об'єктами відновлюваної енергетики (у 2019 році виробіток електричної енергії з ВДЕ в загальній структурі виробництва електричної енергії досягнув 3,6 % або 5,5 млрд кВт·год, при цьому увесь експорт електричної енергії до країн Східної Європи з ОЕС України у 2019 році склав близько 5,8 млрд кВт·год; у 2020 році — виробіток сягнув 10,1 млрд кВт·год або ж 6,8 %; у 2021 році — 12,5 млрд кВт·год або ж 8 %; у 2022 році — очікується виробіток понад 14 млн кВт·год, що становитиме не

менше 9 % від сумарного виробітку електричної енергії всіма об'єктами електроенергетики в ОЕС України).

Постійне підвищення кількості об'єктів відновлюваної енергетики призводить до зростання цінового навантаження на споживачів електричної енергії України, а також загострює проблеми, що пов'язані із забезпеченням операційної безпеки ОЕС України. Станом на 31.12.2021 р. встановлена потужність об'єктів ВДЕ в ОЕС України, які безпосередньо підключені до мереж і відпускають електричну енергію, становить: ВЕС — 1 529 МВт; СЕС — 6 365,3 МВт (у тому числі, СЕС домогосподарств 1 205,3 МВт); БіоЕС — 254,2 МВт; мікро-, міні- та малі ГЕС — 192,9 МВт.

Структура виробництва електричної енергії протягом 2016–2021 років зазнала суттєвих змін.

**Структура й обсяги виробництва електричної енергії в ОЕС України\* за 2016–2021 роки, млрд кВт·год**

Роки	Усього	АЕС	%	ТЕС	%	ТЕЦ і блок- станції	%	ГЕС і ГАЕС	%	ВЕС, СЕС та БіоЕС	%
2016	154,8	80,9	52,3	49,9	32,2	13,3	8,6	9,1	5,9	1,5	1
2017	155,4	85,6	55,1	45	29	12,4	8	10,6	6,8	1,9	1,2
2018	159,3	84,4	53	47,8	30	12,5	7,8	12	7,5	2,6	1,6
2019	153,96	83	53,9	44,9	29,2	12,6	8,2	7,9	5,1	5,5	3,6
2020	148,85	76,2	51,2	39,6	26,6	14,6	9,8	7,6	5,1	10,9	7,3
2021	156,6	86,2	55,0	37,2	23,8	8,6	5,5	10,45	6,7	12,5	8,0

Така структура виробництва обумовлена специфікою генеруючих потужностей української електроенергетики, яка переобтяжена базовими потужностями (АЕС та переважна частина енергоблоків теплової генерації) і характеризується гострим дефіцитом маневрених потужностей. Внаслідок цього в якості маневрених використовуються енергоблоки ТЕС, спроектовані для роботи в базових режимах, значна частина яких працює в непроектних пікових і напівпікових режимах. За таких умов основними потужностями регулювання графіка навантаження є вугільні блоки 150–200–300 МВт ТЕС. У зв'язку з несприятливою структурою потужності (низька питома вага маневрової потужності, обмежений діапазон регулювання ТЕС), в енергосистемі

практикуються щоденні зупинки 7–10 блоків на період нічного зниження навантаження з наступними їх запусками у період ранкового максимуму, зупинками в денній зоні (з метою компенсації збільшення виробітку на СЕС) і запусками у період вечірнього максимуму навантаження. Такі режими призводять до додаткового спрацювання ресурсу устаткування, підвищеної аварійності та перевитрат палива, що безпосередньо мають вплив на достатність генеруючих потужностей, а також на збільшення умовно-постійних та змінних витрат і, відповідно, збільшення цінової пропозиції. У весняно-літній період, з урахуванням вищезазначених чинників, а також базового режиму ГЕС у період повені, до щодобових зупинок-пусків залучається ще більша кількість енергоблоків ТЕС. Загальна кількість пусків/зупинив енергоблоків (корпусів блоків) ТЕС ГК 150–300 МВт продовжує залишатися на досить високому рівні, і за 12 місяців в 2017 році становила 1 943, у 2018 році — 2 255, у 2019 році — 2 478, у 2020 році — 2 622, у 2021 році — 2 900.

Окремо слід відзначити, що після подій 2014 року, коли практично всі шахти України, на яких видобувається антрацитове та пісне вугілля (А та П), опинилися на ТНКТ, виникла нова для електроенергетики країни проблема — перманентний дефіцит вугілля цих груп. Для зменшення залежності від імпортного вугілля генеруючими компаніями проведено роботи з переоснащення енергоблоків ТЕС, які працюють на антрацитовому вугіллі, на спалювання вугілля газової групи (так за період 2016-2019 рр. переведено 10 блоків загальною потужністю 2060 МВт).

З цієї причини за останні роки обсяги споживання антрацитового вугілля в Україні суттєво скоротилися: з 9,2 млн т у 2016 р. до 1,62 млн т у 2021 р. (довідково: у в 2017 р. 4,9 млн т, у 2018 р. 4,1 млн т, у 2019 р. 3,4 млн т, у 2020 р. 3,0 млн т) і було заміщено використанням вітчизняного вугілля газової групи. За таких умов вдалося зберегти досить високі обсяги доступної робочої потужності енергоблоків, працюючих на вугіллі марок Г та Д для покриття ГЕН в ОЕС України.

Водночас, зростають витрати ТЕС ГК на підтримання у працездатному

стані енергоблоків в умовах подальшого погіршення режимів їх експлуатації. За таких обставин, на енергоблоках ТЕС ГК особливу роль відіграє проведення ремонтів, що мають на меті відновлення (покращення) техніко-економічних показників роботи енергоблоків порівняно з фактичними показниками. Протягом 2021 року, як і в деякі попередні роки на режими роботи АЕС накладались балансові обмеження, що призводило до необхідності зниження потужності АЕС в добовому графіку покриття навантаження. Такі обмеження пов'язані, зокрема, з наслідками поширення пандемії, що позначилося на зниженні електроспоживання і, як наслідок, призвело до витіснення частини атомної енергетики з добового графіка іншими технологіями виробництва електричної енергії. Це вказує на необхідність залучення енергоблоків АЕС до тижневого та добового регулювання навантаження, що, в свою чергу, приведе до збільшення гнучкості всієї енергетичної системи, однак потребує ґрунтовних досліджень, випробувань та модернізації у разі отримання позитивних висновків стосовно такої можливості.

Аналіз режимів роботи вітчизняних ТЕЦ показує, що через втрату теплових навантажень основна їхня частина має дуже низькі КВВП, який в середньому по Україні в останні роки не перевищує 24 % (і має тенденцію до подальшого зниження), а максимальна потужність у період максимумів виробництва електричної енергії не перевищує 50% від встановленої потужності.

Водночас, електрична енергія вироблена навіть на найбільш ефективних газових ТЕЦ, що працюють за параметрів пару 13 МПа та 24 МПА, при високій вартості природного газу є неконкурентоспроможною відносно електричної енергії виробленої на ТЕС ГК, як і електрична енергія вироблена з вугілля на ТЕЦ з параметрами пари 9 МПа та нижче. Таким чином, вітчизняні ТЕЦ насамперед необхідно розглядати як джерело теплової енергії, робота яких обумовлена безальтернативністю їх участі у покритті теплових навантажень, особливо в періоди дуже низьких температур, коли потужність їх участі у покритті ГЕН може сягати до 3 ГВт.

Найбільш мобільними піковими виробниками електричної енергії є ГЕС та

ГАЕС. Проте їх встановлена потужність не забезпечена гідроресурсами для регулювання добових графіків навантаження у повному обсязі, особливо впродовж маловодних років. Зокрема, виробництво електричної енергії на ГЕС у 2020 році було найнижчим за аналізований період, тим не менш виробництво на ГЕС у 2021 році повернулося до нормального, середнього рівня останніх років.

При цьому погодні умови осінньо-зимового періоду характеризуються аномально високими температурами й малою кількістю опадів, що впливає на забезпеченість гідроресурсами та режими роботи ГЕС (що спостерігалось наприкінці 2019 – на початку 2020 року). Крім того, обмеження наявної мережевої інфраструктури впливають на нормальну роботу Дністровської ГАЕС (тобто на роботу гідроагрегатів станції у насосному режимі).

Без наявності обмежуючих чинників не обходиться і робота Ташлицької ГАЕС, котра може працювати при рівнях нижнього б'єфу 15,50-16,50 м і верхнього 92-101,50 м в турбінному режимі одним гідроагрегатом лише 3 год. 33 хв або ж двома гідроагрегатами — 1 год. 47 хв. А у насосному режимі одним гідроагрегатом – до 3 год. 51 хв. або ж двома — до 1 год. 56 хв.

При знижені відмітки нижнього б'єфа з рівня 15,5 м до 14,5 м (найсуттєвішим чинним є засушливий мікроклімат в околі басейну р. Південний Буг) тривалість роботи Ташлицької ГАЕС як в насосному, так і турбінному режимах режимі зменшується на 20 %. На режими роботи Ташлицької ГАЕС накладають й умови роботи верхнього б'єфу, коли на позначках 93 – 94,5 м частково забороняється пуски гідроагрегатів в турбінному режимі (не більше 1 разу на тиждень), а при позначках 94,5 — 101,5 м забороняються пуски гідроагрегатів і в насосному режимі.

Введення третього гідроагрегата Ташлицької ГАЕС за наведених вище умов роботи, позначок і накладених обмежень з боку нижнього та верхнього б'єфів (наразі жодних проєктів по їх збільшенню не представлено) де-факто не впливає на режими роботи енергосистеми. За таких умов третій гідроагрегат буде використовуватись в якості резервного, коли будуть проводитись ремонти



на першому і другому гідроагрегатах.

З початком функціонування ринку електричної енергії за оновленої моделі практично постійно існують значні розбіжності між торговими графіками та графіками фізичного відпуску/відбору електричної енергії (чого практично не було за попередньої моделі ринку), що найбільше вплинуло на режими роботи ГЕС та ГАЕС. Крім того робота більшості ГАЕС зосереджена, в основному на такому сегменті ринку як балансуєчий ринок.

Відповідно, збільшилась кількість диспетчерських команд для ГЕС та ГАЕС на зміну потужності з метою підтримання балансу в енергетичній системі. Водночас ГЕС продовжують брати участь в автоматичному та ручному регулюванні частоти і потужності, а також в регулюванні напруги та реактивної потужності, забезпечуючи балансування в ОЕС України, у тому числі і для компенсації небалансів, створених виробниками з ЕНП — електростанції з негарантованою потужністю.

По командам чергового диспетчера НЕК «Укренерго» (в основному у періоди з високим рівнем забезпеченості первинними енергетичними ресурсами генеруючих потужностей на ВДЕ), після вичерпання всіх балансуєчих можливостей, у 2021 році близько 90 разів обмежувалася робота генеруючих потужностей на ВДЕ (потужністю від 365 до 2 385 МВт), у 2020 році та у 2019 році показники становили 20 разів (потужністю від 212 до 1 656 МВт) та 2 рази відповідно (потужністю 250-300 МВт). У наступні роки, до вирішення проблем з дефіцитом маневреної потужності та/або заходів з керованого управління попитом, ця тенденція буде зберігатися.

Аналіз режимів роботи генеруючих потужностей вказує на невисокий рівень забезпеченості енергетичної системи достатністю генеруючих потужностей з метою покриття власних максимумів електричних навантажень, оскільки значна частка генеруючих потужностей не може бути використана для відповідних цілей.

## SECTION 5. ELECTRONICS

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.5.1

### **5.1 Додаткове технічне забезпечення виробництва сучасної електронної техніки**

Наближення норм проектування електронних виробів до рівня мікроелектроніки зумовило необхідність забезпечити відповідні умови виробництва за температурою, вологістю, знепиленістю тощо. Найчастіше при створенні виробництва сучасної електронної техніки високого класу точності обмежуються інвестиціями в оновлення обладнання, але не враховують, що збільшення роздільної здатності малюнка супроводжується відтворенням частинок пилу, а на точності позиціонування позначаються температура, вологість у приміщенні та віброзахищеність обладнання.

Часто-густо в будівельно-монтажні проекти виробництва електроніки закладаються ослаблені вимоги до додаткового технічного забезпечення, зважаючи на обмежені фінансові можливості.

Але в кінцевому підсумку це суттєво позначається на ефективності виробництва: зниженні виходу придатних модулів, великих трудовитратах на виявлення і виправлення браку, зменшенні рівня надійності через неминуче пропускання дефектів або близьких до них ослаблень міжз'єднань.

Вимоги до додаткового технічного забезпечення сучасного виробництва часто не однозначні і тому суперечливі. Сьогодні ще не склалися загальноприйняті норми вимог до проектування високотехнологічних виробництв, відсутні відповідні стандарти. Ще гірше, коли закладаються дорогі проектні рішення, після реалізації яких виникають занадто складні умови виконання виробничих процесів.

Виробництво електроніки починається з друкованих плат, подібних за важливістю до цементу в будівництві. Це виробництво найскладніше за розмаїттям використовуваних у ньому фізичних і хімічних процесів, що вимагають високопрофесійної підтримки з боку персоналу з різнобічною

спеціалізацією. Це і найбільш капіталомістке виробництво з відносно повільною окупністю інвестицій, близько трьох років. Це і найбільш рухлива частина виробництва електроніки: покоління технологій друкованих плат змінюються кожні п'ять-шість років, що змушує за період повернення вкладених коштів створювати накопичення для подальшого оновлення виробництва.

У таких умовах важливо не помилитися з вибором проектних рішень, постачальників обладнання та додаткового технічного забезпечення виробництва. Технічні проекти, які у багатьох на очах, приділяють основну увагу складу обладнання для переоснащення виробництва, але, як правило, зовсім не обумовлюють додаткове технічне забезпечення виробництва.

Мало того, існуючі раніше нормативні документи, що встановлюють вимоги до санітарно-гігієнічних норм проектування виробництв, втратили свою чинність і безнадійно застаріли.

Для досягнення високого технічного рівня друкованих плат недостатньо укомплектувати виробництво прецизійним обладнанням, обов'язковим постає питання додаткового технічного забезпечення умов виробництва - створення герметичних зон з контрольованою атмосферою по запиленості, температурі і вологості.

Вимоги щодо обмеження запиленості стосуються ділянок фотошаблонів і фотолітографії, оскільки відтворюваність провідників і зазорів для плат 4-5 і вище класів точності стає порівнянною з розмірами пилинок у звичайній атмосфері. Недостатній рівень вакуумної гігієни призводить до обвального браку прецизійних плат або до великого обсягу ретуші на звичайних платах. Вимоги щодо стабільності температури і вологості відносяться до всіх ділянок, що відповідають за прецизійність розмірів і суміщення малюнка схем: фотошаблони, експонування, проявлення, свердління, суміщення шарів. Значення температури і вологості повинні не тільки вкладатися у вузький діапазон, але й бути однаковими на цих ділянках. Інакше зміни лінійних розмірів фотошаблонів, заготовок плат і обладнання призведуть до розсміщення елементів багат шарових структур і появи браку або потенційних джерел відмов.

До умов додаткового технічного забезпечення сучасного виробництва відносять багато факторів, першорядними з яких є:

- ступінь чистоти повітря виробничих приміщень, оцінюваний концентрацією завислих часток;
- час відновлення чистоти приміщення до вихідного рівня після короткочасного перевищення допустимого значення;
- витрата повітря (кратність повітрообміну);
- швидкість повітряного потоку;
- однорідність швидкості повітряного потоку;
- односпрямованість повітряного потоку;
- надлишковий тиск повітря;
- номінальна температура повітря;
- точність підтримання заданого значення температури;
- відносна вологість повітря;
- рівень акустичних шумів;
- освітленість;
- аероіонізація повітря;
- рівень вібрації;
- напруженість електричних полів;
- напруженість магнітних полів.

У виробництві друкованих плат важко виділити чисті зони, як це практикується в мікроелектронному виробництві. Специфіка виробництва друкованих плат (ДП) та електронних модулів (ЕМ) (габарити та обсяги продукції) диктують насамперед вимоги до чистих приміщень - основного середовища виробництва.

Джерел забруднень приміщень з вакуумною гігієною так багато, що одне їх перерахування зайняло б чимало місця. Насамперед це, звичайно, зовнішнє середовище. Ось чому підприємства мікроелектроніки будують у паркових зонах із природною чистотою, а чисті приміщення ізолюються від зовнішнього

середовища. Але й ізольованість не позбавляє чисті приміщення від загрози забруднень: внутрішні джерела запиленості вимагають постійної фільтрації повітря. Персонал, його одяг, стіни та підлога, продукти та відходи виробництва, технологічні матеріали, документація та інструмент, природний приплив повітря - усе це потужні джерела забруднень. Для очищення таких приміщень застосовуються бокси мікробіологічної безпеки та спеціалізоване повітроочисне обладнання, які дають змогу контролювати фільтрацію повітря до такого ступеню, що воно практично повністю позбавляється забруднювальних речовин - від пилу до мікробів.

Вимоги щодо стабільності температури та вологості стосуються всіх виробничих приміщень, де виконуються операції, відповідальні за забезпечення точності позиціонування елементів, чи то точність поєднання елементів між'єднань у багат шарових структурах друкованих плат, чи то точність позиціонування свердління, чи точність устанавлення компонентів на друковану плату. Значення температури і вологості повинні не тільки укладатися у вузький діапазон, а й бути однаковими для всіх приміщень, де точність позиціонування - основна умова виробництва.

#### Вимоги до чистих виробничих приміщень

##### 1. Ділянка технологічної підготовки інформації.

Допускається незначне пилоутворення. Уся документація, що надходить у виробництво, має бути виконана на щільному папері з низьким рівнем пилу, ламінованому або упакованому в полімерну плівку (файли). Написи для поправок і довідок на паперові документи наносити кульковою ручкою. Для запобігання руйнуванню упаковки стелажі і бокси не повинні мати гострих граней і задирок.

##### 2. Дільниця виготовлення фотошаблонів.

Вимагається неактивне штучне освітлення. Окремо виділений бокс для фотоплоттера - темна кімната з подачею знепиленого повітря. Шлюз для входу-виходу персоналу. Повітряний душ для знепилювання одягу персоналу. Забарвлення стін і покриття підлоги пиловідштовхувальними неблікуючими

матеріалами, що не виділяють пилу і допускають вологе прибирання. Антистатичний захист. Для запобігання руйнуванню фотоемульсійного шару фотошаблонів стелажі та бокси не повинні мати гострих граней і задирок. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 20 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 1 °С. Волога – 50 ± 5%.

### 3. Ділянка фотолітографії та трафаретного друку.

Вимагається неактивне штучне освітлення. Фарбування стін і покриття підлоги пиловідштовхувальними неблікуючими матеріалами, що не виділяють пилу і допускають вологе прибирання. Шлюз для входу-виходу персоналу. Повітряний душ для знепилювання одягу персоналу. Антистатичний захист. Магістраль стисненого повітря має бути прокладена по опалювальних приміщеннях для запобігання утворенню конденсату. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 40 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 1 °С. Волога – 50 ± 5%. Антистатичний захист.

### 4. Ділянка свердління і фрезерування.

Необхідно передбачити звукопоглинальні підшивні стелі з вогнетривких матеріалів. Загальна витяжка з контрольованим припливом повітря. Основи свердлильних верстатів мають бути віброізолюваними або розміщені в материковому ґрунті (на нульовій позначці). Магістраль стисненого повітря має бути прокладена по опалювальних приміщеннях для запобігання утворенню конденсату. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 10 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 2 °С. Волога – 65 ± 15%.

### 5. Хіміко-гальванічна ділянка.

Підлога повинна мати наливне хімічно стійке покриття. Для стікання води і можливих проливів рідин підлога повинна мати ухил до трапа. Стіни повинні бути ґрунтовані та пофарбовані хімічно стійкою фарбою. на висоту не менше ніж 2 м, верхня частина стін і стеля повинні бути покриті емалевими фарбами. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 40 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 5 °С. Волога – 65 ± 15%.

6. Ділянка мокрих процесів.

Підлога повинна мати наливне хімічно стійке покриття. Для стікання води і можливих проливів рідин підлога повинна мати ухил до трапа. Стіни мають бути ґрунтовані та пофарбовані хімічно стійкою фарбою на висоту не менше ніж 2 м, верхня частина стін і стеля мають бути покриті емалевими фарбами. Загальна витяжка з контрольованим припливом повітря. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 10 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 5 °С. Волога – 65 ± 15%.

7. Ділянка пресування.

Загальна витяжка з контрольованим припливом повітря. Індивідуальний приплив знепиленого повітря на робочому місці. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 70 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 5 °С. Волога – 50 ± 5%.

8. Ділянка гарячого лудіння.

Підлоги з вогнестійким покриттям. Загальна витяжка з контрольованим припливом повітря. Антистатичний захист. Магістраль стисненого повітря має бути прокладена опалювальними приміщеннями для запобігання утворенню конденсату. Засоби пожежогасіння. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 60 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 5 °С. Волога – 65 ± 15%.

9. Ділянка тестування.

Забарвлення стін і покриття підлоги пиловідштовхувальними неблікуючими матеріалами, що не виділяють пилу і допускають вологе прибирання. Антистатичний захист. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 10 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 5 °С. Волога – 50 ± 5%.

Загальні уявлення про заходи додаткового технічного забезпечення прецизійного виробництва електроніки включають одяг персоналу, циркуляцію повітря, термостабілізацію, керування вологістю, зниження рівнів шуму та вібрацій, вимог до електростатики.

Одяг усього допоміжного персоналу має бути з антистатичних матеріалів (білі халати бавовняно-паперові, батистові).

Персонал на дільниці фотолітографії - халати і шапочки синтетичні (не пилящі) з антистатичною обробкою, що не люмінесціюють, тапочки шкіряні. Персонал на хіміко-гальванічній дільниці - халати і тапочки кислототривкі, рукавички хірургічні, косинки (шапочки).

Персонал на механічній дільниці - халати, капці, шапочки (косинки) без спеціальних вимог.

Повітророзподільні пристрої в чистих приміщеннях служать для подачі фільтрованого повітря та створення однорідного повітряного потоку. Швидкість повітрообміну з погляду знепилювання залежить від конфігурації приміщення, обладнання та його розташування, тепловиділень, типу повітряного потоку (ламінальний або турбулентний, вертикальний або горизонтальний), режиму роботи, матеріалів, що використовуються у виробництві. Кратність обміну повітря визначається балансом пиловиділення та ефективністю фільтрації. Джерел пиловиділення у виробництві друкованих плат досить багато. Навіть працюючий персонал, ізольований захисним одягом, є джерелом рясного виділення пилу різного калібру.

Рециркуляція повітря проектується так, щоб не тільки очищати повітря фільтрами, а й потоками повітря не піднімати пил. Для цього вертикальний односпрямований потік спрямовується донизу, проходить чисте приміщення і перфоровану підлогу, потім йде вгору по вертикальних повітропроводах і через стельові фільтри повертається до приміщення. Цим шляхом він проходить через регульований повітроохолоджувач або повітронагрівач, парові або ультразвукові зволожувачі.

Підтримка надлишкового тиску в чистих приміщеннях необхідна для захисту приміщення від забруднення з боку прилеглих зон, захисту потоку, що рухається, від небажаних забруднень, запобігання перехресного забруднення між зонами, підтримання потрібних значень температури і вологості. Чисте приміщення для мікроелектроніки зазвичай працює в діапазоні надлишкових



тисків 40-60 Па відносно прилеглого коридору й інших приміщень будівлі та обладнане напівгерметичним повітряним шлюзом на вході в чисту зону.

Кожне чисте приміщення має свій клас чистоти – чітко регламентовані вимоги щодо рівня вмісту в повітрі різноманітних домішок та частинок. Класи чистоти розрізняються за кількістю та розміром частинок забруднення на одиницю об'єму. Цей параметр - один із найважливіших у класифікації чистих кімнат – регламентується стандартом ДСТУ ISO 14644-1:2009 [262].

Термостабілізація. Під час визначення рівня стабільності температури доводиться зважати на вартість цієї вимоги: стабільність  $\pm 1$  °C обходиться в кілька разів дорожче, ніж  $\pm 2$  °C. Це насамперед пов'язано з тим, що термостабілізоване приміщення частіше доводиться охолоджувати від тепловиділень енергетично потужного обладнання. Як правило, проектувальники чистих приміщень будують виробничі зони так, щоб зменшити витрати на оздоблення капітальних стін, стель і підлог. Для цього вони вбудовують у периметр наявних приміщень чисті кімнати зі шлюзами та ізольованим повітрообміном.

Керування вологістю. Відносна вологість повітря у відповідних зонах приміщення контролюється спеціальними датчиками. За підвищеної вологості знижують вихідну температуру на охолоджувачі повітря для зменшення вмісту вологи (надлишок вологи конденсується на випарниках). Для компенсації зниження температури потоку повітря теплообмінник другого підігріву підтримує необхідний температурний режим. Для підвищення вологості повітряного потоку вмикають ультразвукові зволожувачі, забезпечені деіонізованою водою з питомим опором близько 1 МОм.

Витяжна вентиляція. Зазвичай витяжні системи підрозділяють за типами речовин, що видаляються, на кислотні, органічні, токсичні, теплові та загальнообмінні. Для уловлювання кислотних парів використовують горизонтальний або вертикальний скруббер. Викиди розчинників і летучих потребують обробки шляхом абсорбції, подальшого випарювання, концентрації та утилізації (спалювання) на місці. Токсичні викиди зазвичай нейтралізуються

шляхом високотемпературної обробки безпосередньо на місці їх походження. Належним чином організована обробка повітря може звести до мінімуму кількість викидів в атмосферу.

Рівень шуму та вібрації. Обладнання, що працює, є джерелом шуму та вібрації. І те і інше створює перешкоди в забезпеченні точності позиціонування і суміщення. Свердлильні верстати, що працюють, у яких шпинделі переміщуються вгору-вниз зі швидкістю до трьох ударів за секунду, можуть заважати один одному та іншому прецизійному обладнанню, якщо відсутня віброізоляція.

Міські споруди часто грішать наявністю низькочастотної вібрації від вітрових потоків, що огинають будівлю, руху транспорту (найгірше метро), руху повітряних потоків по коробах внутрішньої вентиляційної системи. Позбутися низькочастотної вібрації дуже важко, низькочастотні шуми проникають через більшість типів звукоізоляції.

Магнітні та електромагнітні поля. Величина магнітного поля Землі біля поверхні становить 0,5 Гс. Безпечний рівень магнітного поля для життя і здоров'я людини становить 5 Гс. Особливо чутливі до магнітних полів електронні системи керування обладнанням, вимірювальні прилади. Для ділянок тестування і лабораторного аналізу, метрологічних лабораторій магнітне випромінювання має бути на рівні 0,05 Гс і нижче. Джерелом магнітного випромінювання можуть бути силові кабелі, індуктори, трансформатори тощо. Під час проектування виробничих приміщень доводиться це враховувати.

Електростатичний заряд у повітрі та на поверхні. Статична електрика виникає під час поділу поверхонь, або як трибоелектричність, або спорідненість частинок пилу до того чи іншого електричного заряду, який вони набувають мимовільно.

Акумуляований електростатичний заряд є джерелом проблем на більшості операцій технологічних процесів виробництва електроніки. Він може стати причиною займання парів розчинників, спричиняти злипання тонких шарів матеріалів і плівок, накопичувати на поверхні пил і дрібні частинки з повітря

(особливо чутливими до цього є літографічні процеси), спричиняти ушкодження або навіть руйнування тонких напівпровідникових структур електронних компонентів, вносити збої в роботу мікроелектронного обладнання. Зазвичай мінімальна енергія загоряння для суміші повітря і вуглеводнів (зокрема, парів розчинників) становить 0,2 мДж за електростатичного розряду в кілька кіловольт.

Додаткове технічне забезпечення сучасного виробництва електроніки - неодмінний атрибут, що гарантує відтворення високих норм проектування, надійності апаратури і низький рівень браку.

Доводиться рахуватися з тим, що вкладення в розвиток основного виробництва співставні з обсягами витрат на додаткове технічне забезпечення цього виробництва. Але без цього важко гарантувати надійність електронних виробів і високий вихід виготовленої продукції.

## SECTION 6. ENERGY

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.6.1

### **6.1 Mass transfer during drying of capillary-porous colloidal materials in a fixed bed**

During the drying of wet materials, two processes take place simultaneously: moisture evaporation (mass transfer) and heat transfer (heat exchange). Heat transfer, which takes place simultaneously with mass transfer, has specific features compared to pure heat transfer. The process of drying dispersed materials in a fixed bed through which the coolant passes is determined by the nature of mass transfer and the value of the mass transfer coefficient.

Recently, the high efficiency of the process of filtration drying and drying in a fixed bed [264 - 266] has been proven in comparison with the convective and fluidized bed. This is due to the fact that during the dehydration of dispersed materials by such methods, there is no release of the fine phase of the dried material into the environment, and energy costs for its implementation are significantly reduced. However, the efficiency of drying in a fixed bed in terms of mass transfer coefficients is not well understood.

Based on the study of the drying kinetics of capillary-porous colloidal materials [267] in a fixed bed, it is necessary to calculate the mass transfer coefficients. To obtain analytical dependencies in the form of criterion equations for predicting the coefficients in the studied range of changes in the operating parameters of the process.

Drying of the dispersed material was carried out in a fixed bed (convective method with simultaneous filtering of the coolant through the material layer). The study was performed in the range of temperature changes of 80 – 175 °C; fictitious coolant velocity of 0.4 – 1.2 m/s and material layer height  $(20 - 60) \cdot 10^{-3}$  m.

To study the drying kinetics in a fixed bed, lumpy polydisperse clay with an initial moisture content of ~18 % was used. The material particles had irregular geometric shapes of different fractional composition:

1.  $0 < d < 0.005$  m – 1.7 % ;

2.  $0.005 < d < 0.01$  m – 11.7 % (nominal diameter  $d_{\text{nom}} = 7.3$  mm);
3.  $0.01 < d < 0.02$  m – 84.5 % (nominal diameter  $d_{\text{nom}} = 14.3$  mm);
4.  $d > 0.02$  m – 2.1 % (nominal diameter  $d_{\text{nom}} = 17.7$  mm).

The presence of particles of different sizes leads to an uneven diffusion resistance and, in general, increases the drying time and leads to energy consumption. However, drying pre-formed particles of the same size can significantly intensify the process. Therefore, another object of drying was clay formed in the form of cylindrical particles with a size of  $d \times h = 6 \cdot 10^{-3} \times 10 \cdot 10^{-3}$  m with an initial moisture content of ~18 %.

To generalize the drying kinetics of lumpy polydisperse clay in a fixed bed in the first period, a system of differential equations of material balance in the bed and drying kinetics was used:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial H} = a \cdot (1 - \varphi); \\ \frac{\partial W}{\partial \tau} = n \cdot (1 - \varphi). \end{cases} \quad (1)$$

where,  $\frac{\partial \varphi}{\partial H}$  – is the change in relative humidity in a layer of material with a height of  $H$ , 1/m;  $\frac{\partial W}{\partial \tau}$  – is the change in material humidity over time, i.e., the drying rate, %/s;  $\varphi$  – is the relative humidity of the air;  $W$  – is the running humidity of the material, %;  $a$  is the kinetic coefficient, 1/m;  $n$  is the proportionality coefficient (1/s), which can be calculated:  $n = S \cdot \beta \cdot P_S$ ;  $S$  is the total outer surface of the material parts,  $\text{m}^2$ .

The kinetic coefficient ( $a$ ) does not depend on the process parameters, but depends on the structure of the material and is calculated by the formula:

$$a = \frac{\Pi \cdot m \cdot n}{0,622 \cdot P_S},$$

where,  $\Pi$  – is the barometric pressure, Pa;  $P_S$  – is the partial pressure of saturated vapor, Pa;  $m$  – is the proportionality coefficient (1/m) and can be determined:

$$m = \frac{\rho \cdot F}{100 \cdot M}$$

then 
$$a = \frac{\Pi \cdot \rho \cdot F \cdot S \cdot \beta}{62,2 \cdot M}, \quad (2)$$

$$\text{or} \quad \beta = \frac{a \cdot 62,2 \cdot M}{\Pi \cdot \rho \cdot F \cdot S}, \quad (3)$$

where,  $\rho$  – is the density of the coolant,  $\text{kg/m}^3$ ;  $F$  – is the cross-sectional area of the container,  $\text{m}^2$ ;  $M$  – is the mass velocity of the coolant,  $\text{kg/s}$ ;  $\beta$  – is the mass transfer coefficient,  $\% / (\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$ .

The solution to the system of differential equations (1) is the equation describing the drying kinetics in the first period until the critical moisture content is reached:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \alpha \cdot \tau \cdot e^{-a \cdot H}, \quad (4)$$

where,  $\alpha$  – drying coefficient (1/s), which can be calculated using the formula:

$$\alpha = \frac{S \cdot \beta \cdot P_s \cdot (1 - \varphi_0)}{W_0}, \quad (5)$$

$W_0$  – initial moisture content of the material, %;  $\varphi_0$  – initial relative humidity.

Let's write equation (4) in the form:  $\frac{1 - \frac{W}{W_0}}{\tau} = \alpha \cdot e^{-a \cdot H}$ . Let's assume that  $\frac{1 - \frac{W}{W_0}}{\tau} = y$

$$\text{Then:} \quad y = \alpha \cdot e^{-a \cdot H} \quad (6)$$

Logarithmizing equation (6), we obtain:

$$\ln(y) = \ln(\alpha) - a \cdot H \cdot \ln(e)$$

or

$$\ln(y) = \ln(\alpha) - a \cdot H \quad (7)$$

To determine the coefficients and  $a$ , using equation (7), the results of studies of the kinetics of the drying process in the first period are presented in the form of

dependence:  $\ln \frac{1 - \frac{W}{W_0}}{\tau} = f(H)$  (figs. 1-2).

From the graphical dependencies shown in Figs. 1 - 2, the drying coefficient  $\ln(\alpha)$  is determined by the segment cut off by the line on the ordinate axis. The value of the kinetic coefficient  $a$  was found as the tangent of the angle of inclination of the line to the abscissa. The results of determining the kinetic coefficients  $a$  and  $\alpha$  are presented in Table 1.

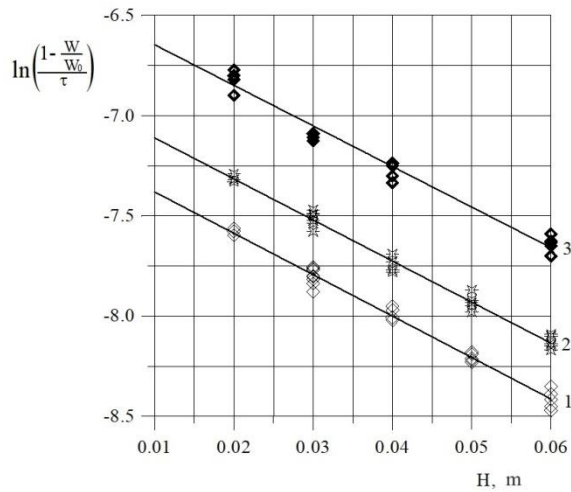


Figure 1. Determination of the kinetic coefficients  $\alpha$  and  $a$  for lumpy polydisperse clay ( $\Delta P_c = 100$  Pa):  
 1 –  $T = 80^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T = 100^\circ\text{C}$ ;  
 3 –  $T = 150^\circ\text{C}$

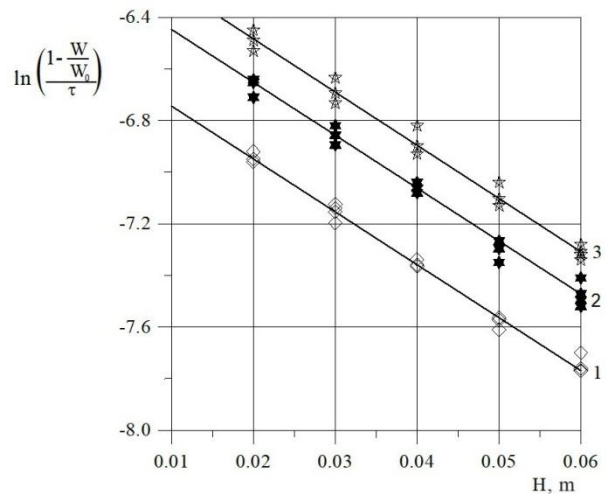


Figure 2. Determination of the kinetic coefficients  $\alpha$  and  $a$  for lumpy polydisperse clay ( $T = 175^\circ\text{C}$ ):  
 1 –  $\Delta P_c = 100$  Pa; 2 –  $\Delta P_c = 200$  Pa;  
 3 –  $\Delta P_c = 400$  Pa

The value of the kinetic coefficient  $a$  is constant and is  $a = 20.5$  (1/m), and the coefficient  $\alpha$  varies depending on the temperature and pressure drop (increases with increasing coolant temperature and pressure drop) (Table 1). Given a known value of the kinetic coefficient ( $a$ ), the calculated dependence (3) is presented in the form:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \alpha \cdot \tau \cdot e^{-20.5H} \quad (8)$$

The drying rate  $N$  for lumpy polydisperse clay in the first period, as follows from the analysis of kinetic coefficients, increases with increasing temperature and speed of the coolant movement through the layer of wet material and with decreasing its height (Table 1).

Table 1

Determination of kinetic drying coefficients depending on the parameters of the process of dehydration of lumpy polydisperse clay in a fixed bed

Process parameters			The first drying period			
T, °C	H, m	$\Delta P_c$ , Pa	$a$ , 1/m	$\ln(\alpha)$	$\alpha$ , 1/s	N, %/s
175	0.03	100	20.5	-6.34	0.0018	0.0149
	0.03	200	20.5	-6.24	0.0019	0.0187
	0.03	400	20.5	-6.07	0.0023	0.0209
150	0.06	100	20.5	-6.44	0.0016	0.0068
	0.04	100	20.5	-6.44	0.0016	0.0083
	0.02	100	20.5	-6.44	0.0016	0.0197
	0.03	100	20.5	-6.44	0.0016	0.0128
80	0.03	100	20.5	-7.17	0.0008	0.0071
100	0.03	100	20.5	-6.91	0.0010	0.0099

In engineering calculations, criterion dependencies are often used to determine mass transfer coefficients, followed by modified equations that allow for the calculation of the material's running moisture content. To develop the mass transfer criterion equation, it is necessary to calculate the mass transfer coefficients and, accordingly, the Nusselt mass transfer criteria  $Nu'$  for different mass velocities of the coolant. Equation (3) was used to determine the experimental values of the mass transfer coefficients  $\beta$ . And from this value, the diffusion Nusselt similarity criterion  $Nu'$  was calculated for the first period of drying lumpy polydisperse clay in a fixed bed according to dependence:

$$Nu' = \frac{\beta \cdot d_e'}{D}, \quad (9)$$

where  $Nu'$  - Nusselt's diffusion similarity number;  $\beta$  - is the mass transfer coefficient, m/s;  $D$  - is the diffusion coefficient,  $m^2/s$ ;  $d_e'$  - is the equivalent diameter of voids in the material layer, m.

Using the general form of the criterion equation, we obtained:



$$\text{Nu}' = A \cdot \text{Re}^m \cdot \text{Pr}'^n \cdot \left(\frac{H}{d_e}\right)^k, \quad (10)$$

where Re is the Reynolds similarity number; Pr' is the Prandtl diffusion similarity number; A is the proportionality coefficient;  $m, n, k$  – are the degree indices of the similarity number;  $(H/d_e)$  – is the ratio of the height of a material layer to the equivalent diameter of a particle;

$$\text{or} \quad \frac{\beta \cdot d_e'}{D} = A \cdot \left(\frac{\omega \cdot d_e' \cdot \rho}{\mu}\right)^m \cdot \left(\frac{\mu}{D \cdot \rho}\right)^n \cdot \left(\frac{H}{d_e}\right)^k, \quad (11)$$

where  $\omega$  – is the actual coolant velocity, m/s;  $\rho$  is the coolant density, kg/m<sup>3</sup>;  $\mu$  is the dynamic viscosity coefficient of the coolant, Pa·s.

Based on the known values of mass velocities, the actual speed of the coolant movement through the material layer and the values of the numbers of the Reynolds Re and Prandtl number Pr' were calculated. In other words, a system of four equations with four unknowns at certain values of the calculated criteria Nu', Re, and Pr' was compiled and the unknowns of the proportionality coefficient A and the indicators of the degrees of similarity criteria  $m, n, k$  included in equation (10) were determined under different conditions of the drying process. The ratio of the height of the material layer to the equivalent diameter of the parts H/d<sub>e</sub> of lumpy polydisperse clay was used as a geometric simplex. As a result of the calculation, the coefficients  $A = 2.6$ ;  $m = 0.92$ ;  $n = 0.9$ ;  $k = -0.1$  were determined. The criterion dependence is as follow

$$\text{Nu}' = 2.6 \cdot \text{Re}^{0.92} \cdot \text{Pr}'^{0.9} \cdot \left(\frac{H}{d_e}\right)^{-0.1} \quad (12)$$

That is, equation (12) shows that as the Reynolds and Prandtl numbers increase, the mass transfer coefficient increases, and an increase in the H/d<sub>e</sub> ratio leads to its decrease.

The comparison of the calculated values determined by dependence (12) and the mass transfer coefficients of lumpy polydisperse clay in a stationary layer obtained by equation (3) is shown in Fig. 3. The calculated values  $\beta_{\text{calc}}$  have an acceptable agreement with the experimental values  $\beta_{\text{exp}}$ , and the error does not exceed 7 % (Fig. 3).

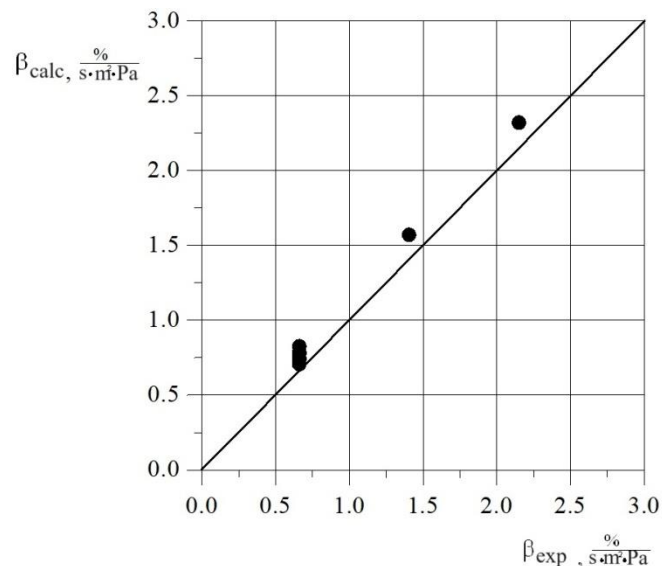


Figure 3. Comparison of the calculated values obtained by equation (12) and the experimental ones determined by dependence (3) of the mass transfer coefficients of drying lumpy polydisperse clay in a fixed bed

Similarly, the results of the drying kinetics of clay formed in the form of cylindrical particles with particle sizes ( $h \times d = 0.006 \times 0.01$  mm) in a stationary layer were analyzed and summarized in the form of the following dependence:

$$\ln \frac{1 - \frac{W}{W_0}}{\tau} = f(H) \text{ (Figs. 4, 5).}$$

The graphical dependencies are linear (Figs. 4, 5). Based on the results of determining the kinetic coefficients, Table 2 was compiled, which contains the values found for the corresponding process parameters.

That is, increasing the height of the material layer does not affect the coefficient  $\alpha$ , while the drying rate  $N$  decreases. An increase in the temperature of the coolant and the pressure drop leads to an increase in the coefficient  $\alpha$  and the drying rate  $N$ . The value of the kinetic coefficient  $a$  does not change with the change in the conditions of the drying process in a fixed bed and is  $a = 23.45$  (1/m) for clay particles formed in the form of cylinders.

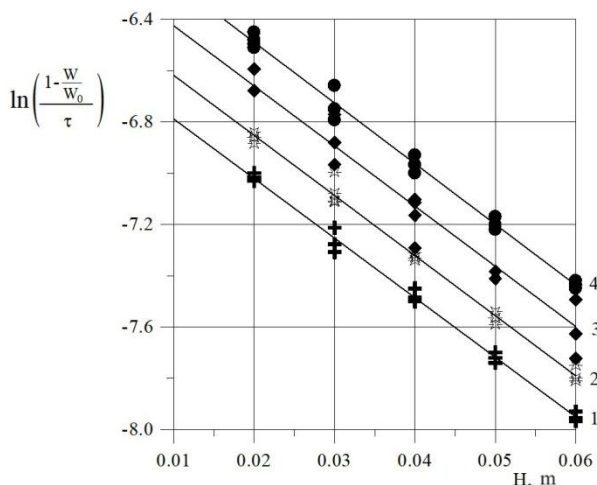


Figure 4. Determination of the kinetic coefficients  $\alpha$  and  $a$  for clay formed in the form of cylindrical particles at different coolant temperatures ( $\Delta P_c = 100$  Pa): 1 –  $T = 80^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T = 100^\circ\text{C}$ ; 3 –  $T = 150^\circ\text{C}$ ; 4 –  $T = 175^\circ\text{C}$

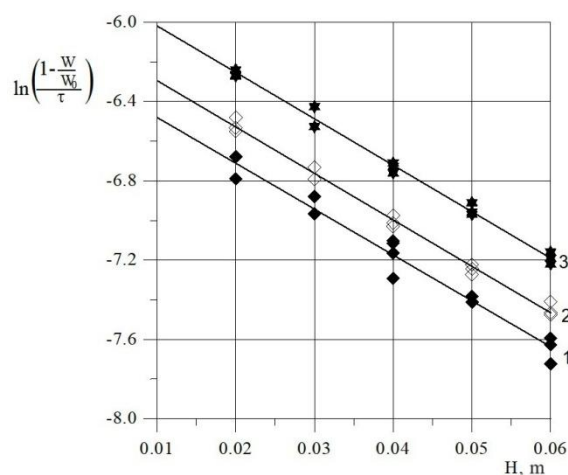


Figure 5. Determination of the kinetic coefficients  $\alpha$  and  $a$  for clay formed as cylindrical particles at different pressure drops ( $T=150^\circ\text{C}$ ): 1 –  $\Delta P_c = 100$  Pa; 2 –  $\Delta P_c = 200$  Pa; 3 –  $\Delta P_c = 400$  Pa

Table 2.

Determination of kinetic drying coefficients depending on the parameters of the clay dehydration process, formed in the form of cylindrical particles in a fixed bed

Process parameters			The first drying period			
T, °C	H, m	$\Delta P_c$ , Pa	$a$ , 1/m	$\ln(\alpha)$	$\alpha$ , 1/s	N, %/s
150	0.02	100	23.45	-6.19	0.0021	0.0258
150	0.03	100	23.45	-6.19	0.0021	0.0195
150	0.04	100	23.45	-6.19	0.0021	0.0158
150	0.05	100	23.45	-6.19	0.00217	0.0126
150	0.06	100	23.45	-6.19	0.0021	0.0108
150	0.03	200	23.45	-6.06	0.0023	0.0206
150	0.03	400	23.45	-5.78	0.0030	0.0265
80	0.03	100	23.45	-6.56	0.0014	0.0119
100	0.03	100	23.45	-6.38	0.0017	0.0146
175	0.03	100	23.45	-6.02	0.0024	0.0242

Based on the obtained value of the kinetic coefficient  $a$ , the values of the mass transfer coefficients  $\beta$  were calculated according to Equation (3), and then the value of the Nusselt diffusion number was found. As a result of solving the system of four equations with four unknowns, the coefficients  $A = 1.86$ ;  $m = 0.99$ ;  $n = 1.0$ ;  $k = 0$ . The criterion dependence is as follows:

$$Nu' = 1.86 \cdot Re^{0.99} \cdot Pr'^{1.0} \cdot \left(\frac{H}{d_e}\right)^0 \quad (13)$$

In the studied interval of changes in the height of the layer  $H$ , the component  $H/d_e$  can be neglected, then dependence (13) will have the form:

$$Nu' = 1.86 \cdot Re^{0.99} \cdot Pr'^{1.0} \quad (14)$$

Equation (14) shows that the mass transfer coefficients  $\beta$  increase with an increase in the Reynolds and Prandtl numbers. Based on the calculated values of the mass transfer coefficients according to dependence (14) and those obtained by equation (3) for clay formed in the form of cylindrical particles during its drying in a fixed bed, a correlation dependence was constructed (Fig. 6), which shows an acceptable consistency of these values.

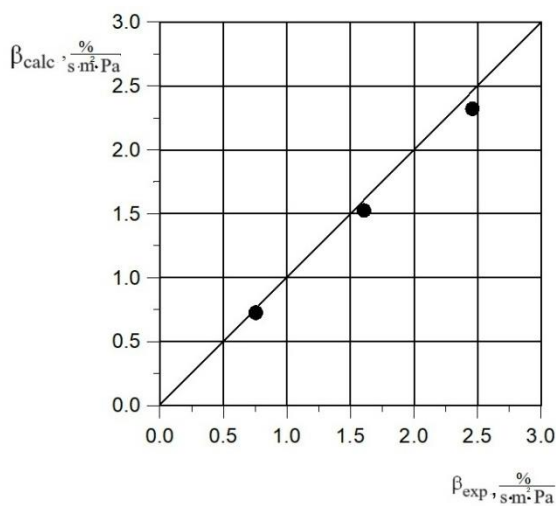


Figure 6. Comparison of the calculated values obtained by equation (14) and the experimental ones determined by dependence (3) of the mass transfer coefficients during the drying of clay in the form of cylindrical particles in a fixed bed

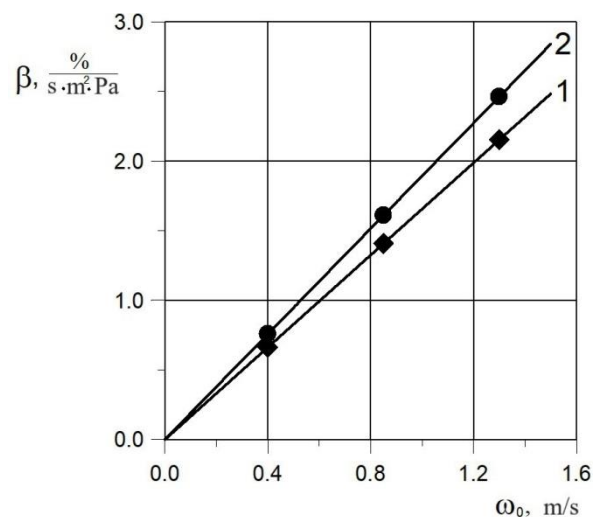


Figure 7. Dependence of the mass transfer coefficient on the fictitious coolant velocity: 1 - lumpy polydisperse clay; 2 - clay formed in the form of cylindrical particles

The value of mass transfer coefficients in the studied range of changes in process parameters varies within  $0.66 - 2.15 \text{ \%}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Pa})$  for lumpy polydisperse clay particles and  $0.76 - 2.46 \text{ \%}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Pa})$  for clay formed in the form of cylindrical particles and depends on the physical characteristics of the coolant, in particular, on the fictitious speed of its movement through the layer of dispersed material (Fig. 7).

**Conclusions.** The experimental studies on the kinetics of drying lumpy polydisperse clay in a fixed bed made it possible to determine the mass transfer coefficients and obtain criterion dependencies for their prediction. It was found that the mass transfer coefficients for clay in the form of cylindrical particles have higher values compared to lumpy polydisperse clay. For example, under drying conditions ( $T = 150^\circ\text{C}$ ;  $H = 0.03 \text{ m}$ ;  $\Delta P = 100 \text{ Pa}$ ), the mass transfer coefficient  $\beta$  for cylindrical particles is 0.7239; for polydisperse clay, it is 0.6632 (1.1 times higher). This is due to the fact that the layer of polydisperse clay contains particles of different sizes and the largest of them limit the diffusion of moisture from the material and, accordingly, the mass transfer coefficient in this case will be lower.

## SECTION 7. FOOD AND LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGY

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.7.1

### **7.1 Management of production waste and garbage, their collection and disposal in catering establishments**

**Introduction.** Every day, humanity generates hundreds of tons of waste, the majority of which ends up in landfills [268-270]. Food waste is defined as 'any by-product or waste resulting from the production, processing, distribution, and consumption of food products' [271]. Consequently, this poses a significant threat to the sustainability of the food system, particularly in light of the growing population and the finite nature of natural resources [272].

According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), it is estimated that globally, 1.3 billion tons of food are lost or wasted each year. This represents approximately one-third of all the food produced [273]. Food waste ranks as the third-largest emitter of carbon dioxide [274], contradicting the principles of rational use of natural resources and posing a threat to global food security.

The problem of food waste in public dining establishments, including restaurants and cafes, is especially concerning: these venues produce tons of food each day, a considerable amount of which eventually ends up in landfills. This results from both the overproduction of food and the substantial amount of leftovers from customers' plates. The growing volume of waste produced in these facilities, particularly from food preparation and processing, will considerably increase the environmental footprint of the restaurant industry if current waste management practices are not improved [275].

Considering the extensive problems (both in scale and global reach) and the increasing emphasis on producing and consuming healthy, sustainable food, the issue of food waste is attracting greater scientific and public attention [273]. Consequently, an increasing number of initiatives are being introduced to reduce the amount of waste at every stage of the supply chain, from production and storage to preparation and

consumption.

**Materials and Methods.** This article examines the methods and strategies for collecting, sorting, recycling, and disposing of waste in public dining establishments, taking into account their adverse effects on the environment and the public dining sector.

Additionally, it evaluates the regulatory documents [276-279] that outline the requirements for appropriate trash and waste management, specifically focusing on collection and disposal.

**Results and Discussions.** All business entities generate waste from their operations, including public dining establishments.

The HACCP team proactively develops action plans for each establishment to be immediately implemented if monitoring shows deviations from critical limits. These action plans must be documented in relevant procedures [276].

Special facilities are essential for storing garbage and inedible materials until they are removed from the public dining establishment. The design of these facilities must provide protection against pests and prevent contamination of food products, drinking water, equipment, premises, or pathways within the public dining establishment.

Enterprises must maintain an effective and orderly system for disposing of effluents and waste, ensuring it is in good working condition. All drain pipes (including sewage) must be designed to prevent contamination of drinking water. All drain pipes should be properly installed and lead to a drainage pipe [277].

Identifying the specific types of waste generated is necessary, which involves conducting an inventory, identification, and certification of the waste.

Inventory at the facility is conducted once. During the waste inventory, several important issues are addressed:

- 1) Whether there is a need to develop a register map for the waste generation facility on-site;
- 2) Whether the facility needs to obtain a permit for waste management operations or if it is sufficient to annually submit a declaration of waste generation.

An ecologist should conduct the inventory. After the inventory and certification

of the waste are completed, there will be an understanding of the specific types of waste generated at the facility, their quantity, their hazard class, whether they are hazardous, and where and how they can be temporarily stored, and what should be done with them subsequently.

In the kitchen and food preparation areas, waste must be collected in disposable waterproof bags or marked reusable containers. These containers should be sealed or closed and removed from the production areas as they fill up or after each shift, then placed or emptied into lockable waste bins, which should never be brought into the kitchen. Reusable containers must be cleaned and disinfected before being reused in the kitchen [277].

Waste containers should be situated separately from food storage areas in a dedicated closed area.

The temperature should be maintained as low as possible, and the area must be equipped with adequate ventilation, lighting, and protection against insects and rodents.

The area should be readily accessible for cleaning, washing, and disinfection. Waste containers must be cleaned and disinfected as necessary [278].

These containers should be clearly marked to indicate their purpose (Table 1), constructed from durable material that can be easily cleaned and sanitized, and positioned in designated areas. They should be kept closed when not in use and securely locked in locations where waste could pose a contamination risk to products (Figure 1).

All waste generated at the facility must be either utilized or removed.

Since public dining establishments lack the capability to dispose of waste independently, they are required to enter into waste disposal contracts with municipal enterprises.



**Table 1.**

Classification of Containers According to Category Division

No	Type of garbage	Color
1	Low-hazard waste or minor chemical waste: fluorescent lamps, cleaning agents, spent oils, etc	Red
2	PMD (Plastic or Metal and Drink Cartons) waste: packaging made of plastic or metal and beverage cartons are recycled to produce new packaging materials, textile fibers, etc	Orange
3	Cans from beverages and food	Yellow
4	Glass and glass cullet. In most places, clear glass and colored glass should be separated. New glass containers can be made from recycled glass	Green
5	Paper and cardboard: newspapers, magazines, boxes, and the like must be sufficiently clean to be recyclable	Blue
6	Organic waste: vegetables, fruits, garden waste, trimmings, grass, and leaves can be composted	Black



**Figure 1.** Classification of containers according to color coding

Contracts must encompass all types of waste as specified in the nomenclature. In other words, both the contract and its associated primary documentation should list the waste types as defined in their respective certificates.

Waste must be categorized as per Ukrainian legislation and, depending on the anticipated disposal method, isolated and collected in specific specialized containers.

Contracts should be made not only for the collection and removal of waste. The

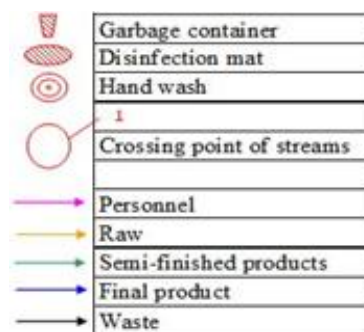
contract must clearly specify the final waste management operation – whether recycling, disposal, or placement.

The removal and disposal of waste from the facility, as outlined in respective agreements, must be conducted. The cleaning, washing, and disinfection of containers and receptacles for external waste storage should be conducted separately from other containers. Containers for internal waste storage can be disposable or returned to the premises after cleaning, washing, and disinfection [276].

Vehicles designated for transporting containers and waste collectors are strictly prohibited from being used for the transport of food raw materials or finished products.

Schedules and methods for removing waste from premises where food products are handled must be determined to avoid accumulation. This should take into account the possibility of cross-contamination of products during their removal [276].

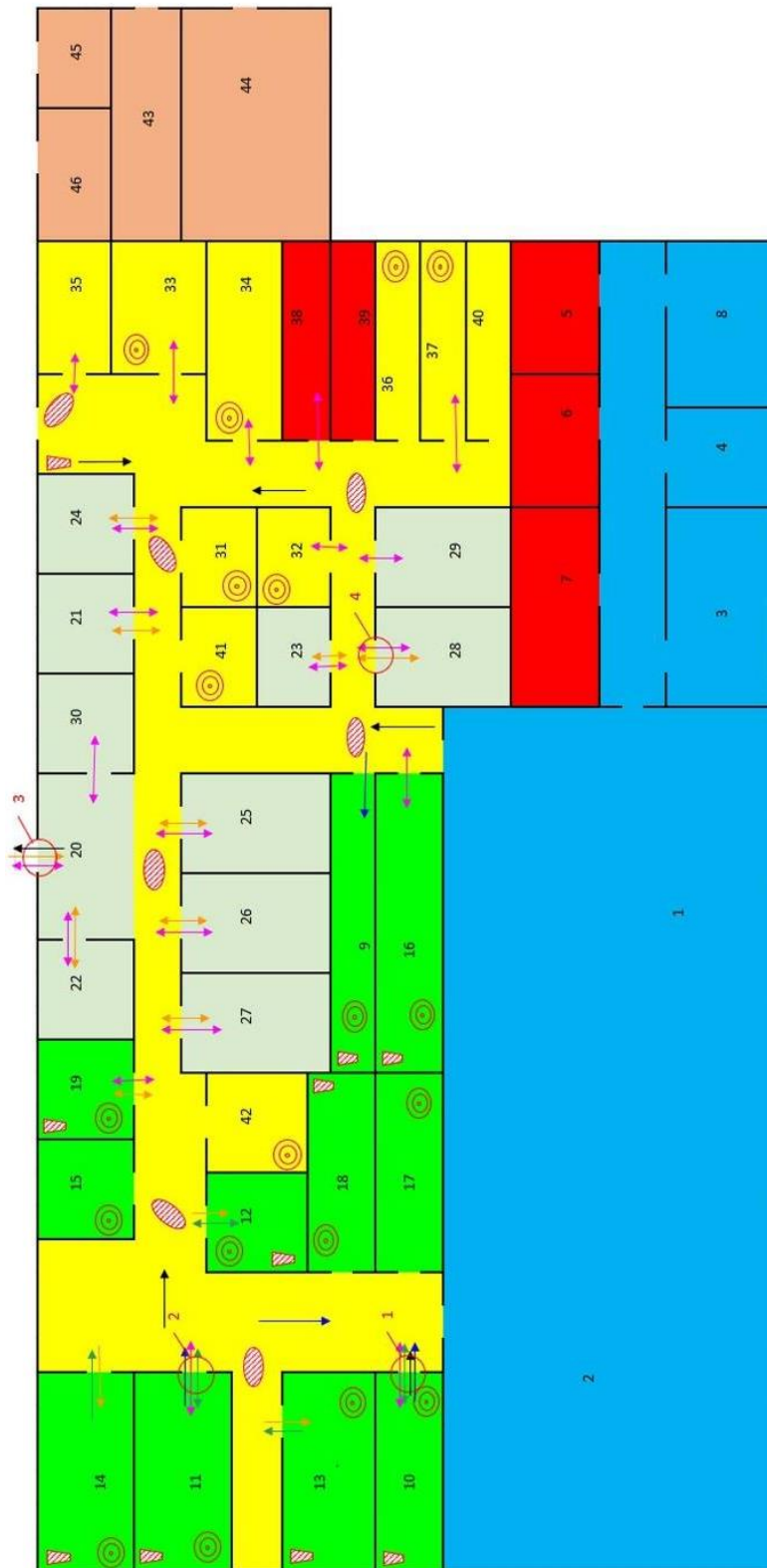
To prevent the spread of infections during the preparation of meals, which can cause food poisoning, it is extremely important in the kitchens of restaurant establishments to schematize the flows (Figures 2-3). This ensures a distinct separation between clean and dirty areas, thereby preventing dangerous cross-contamination [280].



**Figure 2.** Designation on the restaurant flow route diagram

The list of restaurant premises, along with the schematization of the movement of raw materials and staff analyzed for efficiency, is presented in Table 2. This mainly includes storage rooms for products, preparation workshops (vegetable, and meat-fish workshops), finishing workshops (hot and cold), as well as dishwashing areas for tableware and kitchen utensils, among others. Analyzing existing flow diagrams will

allow for the assessment of cross-contamination risks and the development of recommendations for optimizing these flows.



**Figure 3.** Traffic pattern in the restaurant

**Table 2.**

The names of the restaurant premises

No	Name	No	Name
	<b>Premises for visitors</b>	24	Grocery Pantry
1	Dining room	25	Cooling chamber for meat and fish
2	Zone of musical atoms, audio and video reproducing, etc.	26	Cooling chamber for dairy and fat products and gastronomy
3	Lobby	27	Cooling chamber for fruits, herbs, vegetables and drinks
4	Wardrobe	28	Pantry for daily supply of raw materials
5	Women's toilet (restroom)	29	Logistics storeroom
6	Men's toilet (restroom)	30	Pantry for washing containers and household packaging goods
7	Toilet (restroom) for people with limited mobility		<b>Service premises</b>
8	Smoking room	31	Director's office
	<b>Production premises</b>	32	Accounting
9	Buffet	33	Waiters and bartenders' quarters
10	Hot shop	34	Staff quarters
11	Cold shop	35	Staff wardrobe
12	Bread cutting room	36	Showers for women
13	Meat and fish workshop	37	Showers for men
14	Vegetable shop	38	Women's toilet (restroom)
15	Production Manager's Office	39	Men's toilet (restroom)
16	Room for washing tableware	40	Storekeeper's room
17	Room for storing and dispensing dishes	41	Cleaning equipment storage room
18	Room for washing kitchen utensils	42	Linen storage room
19	Egg processing room		<b>Technical premises</b>
	<b>Warehouses</b>	43	Electrical panel room
20	Loading room	44	Heating point room
21	Dry food pantry	45	Room for fresh air ventilation
22	Pantry of vegetables and pickles	46	Exhaust ventilation room
23	Wine and vodka pantry		

*Monitoring and implementing corrective actions in case of detected non-conformities.* The responsible chef [277] is in charge of organizing a comprehensive set of measures for handling production waste and garbage, including their collection and removal, as well as ensuring safe collection and disposal of waste in the kitchen.

The head of the establishment organizes the signing of a contract with a company that handles waste removal and disposal and oversees the sanitary condition of the premises and containers.

Monitoring is conducted continuously or periodically.

For periodic monitoring, the frequency should be set in a way that ensures the reliability of information and, at a minimum, facilitates corrective actions in case deviations are detected during monitoring. It should also ensure that potentially hazardous food products, produced since the last positive monitoring result, do not leave the market operator's control.

Monitoring should enable the timely detection of loss of control at critical control points (CCPs) for the prompt application of corrective actions.

In case of inadequate control and deviations from critical limits, a hazardous food product may be produced. Considering that the consequences of critical deviations at CCPs lead to the release of hazardous food products, monitoring procedures must be effective. If monitoring reveals trends indicating a loss of control at CCPs, preventive actions are implemented [276].

Completed work is documented in a report of work performed.

*Verification of the basic program.* Methods for verifying the prerequisite program include classifying waste by origin, adhering to the frequency of waste removal, and disinfecting waste bins.

Verification of the basic program is carried out by the HACCP team according to the 'Verification Plan'. The verification activity should confirm that:

- a) prerequisite programs are implemented and effective;
- b) the hazard management plan is implemented and effective;
- c) hazard levels are within acceptable limits;
- d) input data for hazard analysis are updated;
- e) other actions determined by the organization are implemented and effective.

If verification is based on testing of final product samples or direct sampling from the process, and the tests reveal non-conformity of the samples to acceptable levels of food hazards, then the organization must treat the questionable part of the production

as potentially hazardous and undertake corrective actions [279].

*Staff training.* Staff must have knowledge of the HACCP system commensurate with their job responsibilities [276].

The manager of the establishment conducts briefings for the production and administrative staff:

- initial briefing – after the document comes into effect;
- periodic briefing – once a year;
- extraordinary briefing – in cases of changes to the documents or when instances of employee non-compliance with the program requirements are detected.

**Conclusions.** In summary, the research on waste and garbage handling, as well as their collection and removal, indicates that effective waste management requires a comprehensive approach and systematic measures. The analysis demonstrated that optimizing these processes with modern methods of sorting, recycling, and disposal helps reduce waste, improve environmental conditions, and foster a more sustainable environment for future generations. This highlights the necessity of continually improving waste management strategies to attain a more sustainable and eco-friendly production environment in public dining establishments.

## **7.2 Expansion of the range of flour culinary dishes for special purposes**

According to the World Health Organization, a person's health depends on 70% of nutrition and lifestyle and only 15% on the organization of medical services.

The prevalence of diseases in the world caused by food intolerance (in particular, celiac disease) is 1 case per 100 people. In this regard, it is possible to avoid exacerbation of hereditary chronic diseases of the gastrointestinal tract, disorders of digestive processes by developing gluten-free food products.

Consumers' demand for gluten-free food products is dictated by the urgent need to provide consumers with alimentary-dependent diseases with high-quality special products [281].

In the development of low-protein and gluten-free products, non-traditional plant crops are used. In the context of import substitution and import independence, the obtained products will make it possible to supplement the diet of people with impaired gluten metabolism with nutrients, as well as diversify the range of culinary products for the category of people who adhere to a low-protein diet.

At the heart of the problem of relieving a number of symptoms in case of exclusion of gluten from food products is the development of optimally selected prescription ingredients to exclude "gluten-associated diseases" in humans.

Improving the standard of living and health of citizens is outlined in the priority areas of the state policy of Ukraine.

The need to improve the level and duration of life of the population confirms the importance of solving the problem of providing the population with alimentary-dependent diseases with high-quality and safe food products. The solution of these issues will be based on the development of gluten-free food products, which are vital for children and adults with pathology caused by the provocation of various immunological reactions from the gastrointestinal tract.

The relevance of the development of gluten-free targeted products is also confirmed by the request to provide children with hereditary diseases and allergies in

general education institutions with individual nutrition in accordance with the new norms and procedures for organizing meals in educational institutions [282].

In this regard, the development of recipes for gluten-free, lactose-free dishes and culinary products with a reduced sugar content is vital for children and adults with pathology caused by provoking various immunological reactions from the gastrointestinal tract, will be based on consumer preferences.

Ukraine is the leader in the production of plant crops in the world, primarily wheat. The recommended annual intake of cereal products for an adult should be 83 kg/year, which is 675 kcal/day or 30-40% of the total caloric intake of food.

This amount is ensured by the consumption of 250 g per day of bread, flour products, cereals and flour confectionery.

Grain raw materials are the second source of protein, dietary fiber, macro- and microelements after meat.

The chemical composition of the most common cereal crops is shown in Table 1 [283].

*Table 1*

**Chemical composition of the most common cereal crops, % [283]**

Raw	Proteins	Fats	Carbohydrates			Ash	Humidity	Energy value, kcal
			Mono- and disaccharides	Starch	Dietary fiber			
Soft wheat (contains gluten)	11,8	2,2	2,0	54,5	10,8	0,5	14,0	301
Durum wheat (contains gluten)	13,0	2,5	2,5	55,5	11,3	0,9	14,0	305
Rye (traces of gluten)	9,9	2,2	1,5	54,0	16,4	1,7	14,0	283
Barley (traces of gluten)	10,3	2,4	1,3	54,6	14,5	2,6	14,0	288
Oats (traces of gluten)	10,0	6,2	1,1	53,7	12,0	2,7	13,5	316
Kukurudza	10,3	4,9	1,6	58,2	9,6	1,4	14,0	325
Millet	11,2	3,9	1,9	52,4	13,9	2,9	13,5	298
Rice	7,5	2,6	0,9	61,4	9,7	1,1	14,0	303
Amaranth	13,6	7,0	1,7	57,3	6,7	2,9	11,0	371
Quinoa	14,1	6,1	1,6	52,2	7,0	2,8	13,3	368
Gretchka (overwhelmed)	13,5	3,4	1,5	55,4	11,3	2,1	13,0	357
Gretchka (green)	12,6	2,6	1,4	55,4	11	2,8	14,0	329



Based on the data in Table 1, it can be concluded that the use of non-traditional plant crops, such as green buckwheat and quinoa, is appropriate due to the high energy value, as well as the content of protein substances. It is special that these cultures do not contain gluten.

It is important to take into account that the nutritional value of cereal products depends on how the macro- and micronutrients of the original grain will be preserved [283].

Soft wheat, rye and oats are excellent for the manufacture of flour products and dishes, but the listed cereals may contain gluten, or traces of it, in case of violations of harvesting or storage of crops, and they cannot be used as the main raw material in the production of gluten-free products.

A comparison of the main types of flour currently used as raw materials for the production of flour dishes – gluten-free pancakes for special purposes – was carried out.

The decisive factor in the choice of flour is the technology for the production of gluten-free flour products, this is due to the absence of gluten, which leads to a violation of the structure of the dough. Substitution of wheat flour should not lead to a deficiency of other components of the chemical composition.

The calorie and nutritional value of 100 g of green buckwheat and quinoa flour are shown in Table 2 [283].

*Table 2*

**Nutritional value and calorie content of flour from non-traditional plant crops compared to wheat flour [3]**

Складові, г на 100 г	Wheat flour	Green buckwheat flour	Quinoa flour
Proteins	10,33	12,6	14,1
Carbohydrates	76,31	68,0	64,2
Zhiri	0,98	2,6	6,1
Starch	81	55,4	68,2
Sajarosa	0,27	1,4	0,5
Dietary fiber	2,7	11,0	7,0
Calcium (mg)	15	20,0	47,0
Iron (mg)	4,64	6,7	4,6
Magnesium (mg)	22	20,0	2,0
Copper (mg)	0,14	6,0	0,6
Calorie content, kcal	301	329	368

A study of the chemical composition of green buckwheat flour and quinoa flour revealed (Tables 1, 2) that the mass fraction of protein in them exceeds in traditional plant crops, such as wheat (on average by 3%) and a higher content of calcium by 3 times (quinoa flour) and iron by 0.5% times.

It was found that green buckwheat flour has the highest content of carbohydrates (68 g per 100 g) and starch (55.4 g) among all gluten-free types of flour studied.

Quinoa flour also has a high starch content – 64.1 g per 100 g. It is advisable to mix them not in equal proportions, because for kneading the dough you will need a much larger amount of liquid (milk), which will lead to an increase in the cost of production. Dishes with the addition of these types of flour will be more elastic due to the fact that there is no gluten in these types of flour, and the starch content is an important factor for frying pancakes. However, it is worth considering that starch instantly settles in the pancake dough, so it is necessary to constantly stir the dough before heat treatment.

Therefore, the use of these types of flour in the manufacture of the dish will increase the nutritional and biological value of the product.

All of these positive properties of quinoa flour and green buckwheat indicate the feasibility of their use in the preparation of gluten-free products.

Model samples of pancakes were prepared according to traditional technology with the complete replacement of premium wheat flour and white crystalline sugar with pumpkin puree, the recipe for pancakes made of premium wheat flour No. 1082 from the Recipe Book was taken as a control sample [284].

Variants of model samples of pancakes with different ratios of gluten-free types of flour were developed.

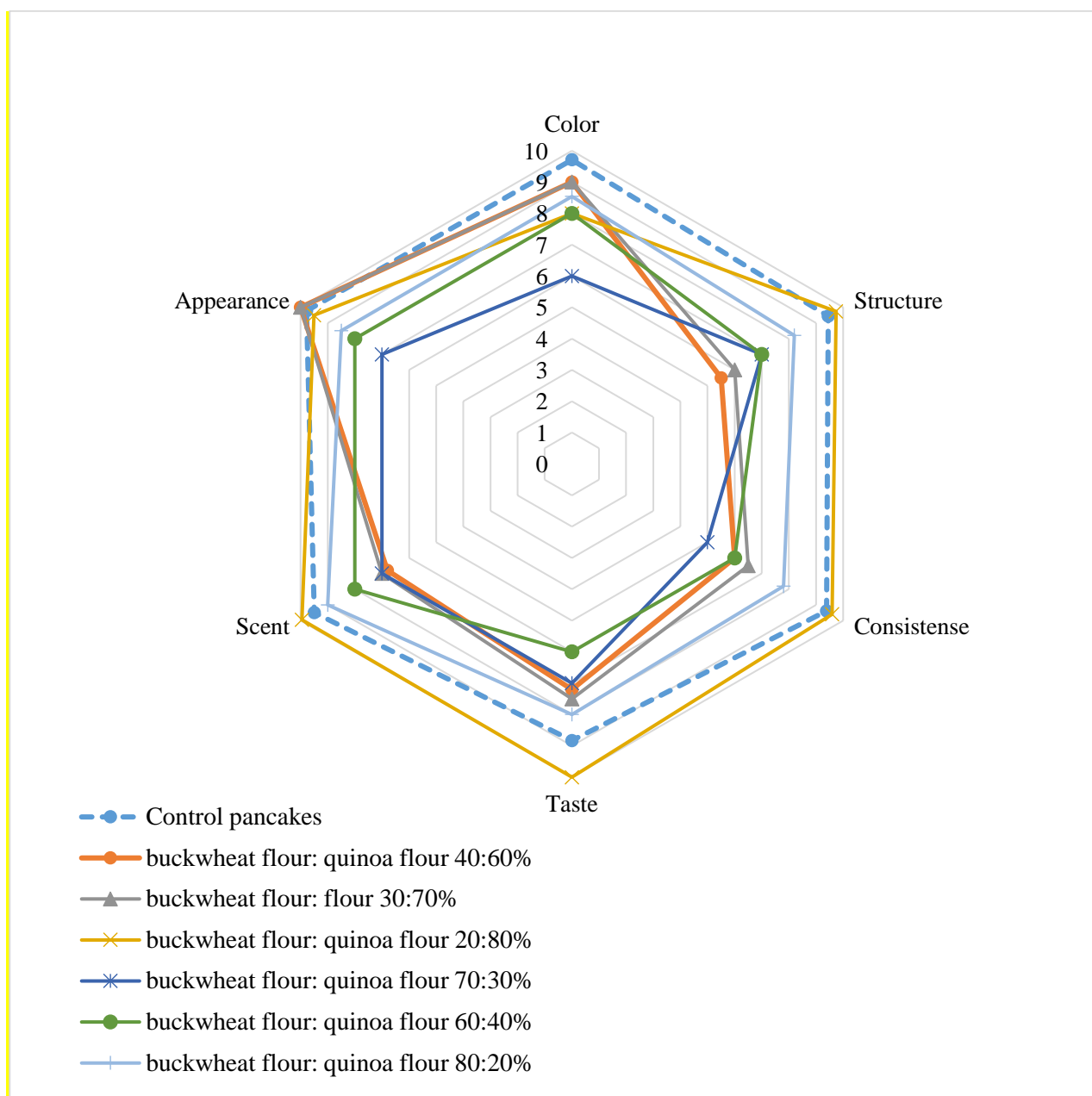
In the studies, options with the ratio of green buckwheat flour to quinoa as 40:60%, 30:70%, 20:80%, 60:40%, 70:30%, 80:20% were chosen. However, the best option, which is closest to the control, was chosen 20:80%. As a binding agent and to increase the nutritional value of pancakes, pumpkin puree with an age content of carotene is added.

Pancakes made from gluten-free types of flour differed slightly in shape from the control sample made from wheat flour. In terms of color, the most similar to the control

sample were samples of green buckwheat and quinoa flour, which have a light cream hue.

Based on the above data, it was concluded that it is expedient to use two types of flour in the mixture at the same time in the 35:9% variant [285].

Next, an organoleptic assessment of the pancakes was carried out using the Harington scoring scale (10-point scale), the results of which are presented in Figure 1.



**Fig. 1 – Pancake Quality Polygon Depending on the ratio of green buckwheat flour to quinoa flour**

The organoleptic evaluation of gluten-free flour dishes is close to the control sample.

At the same time, an increase in the proportion of quinoa flour in the dispersed system of the dough has a positive effect on the color of the finished pancakes, but negatively affects the consistency, that is, it gives strength and density to the structure.

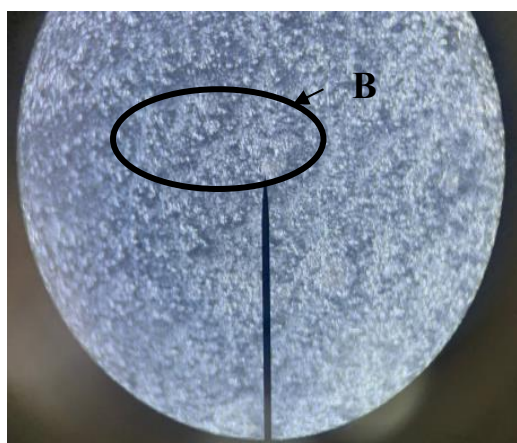
The proposed recipe for a dish made from buckwheat flour to quinoa as 20:80% is called "Snail" (Table 3).

Table 3

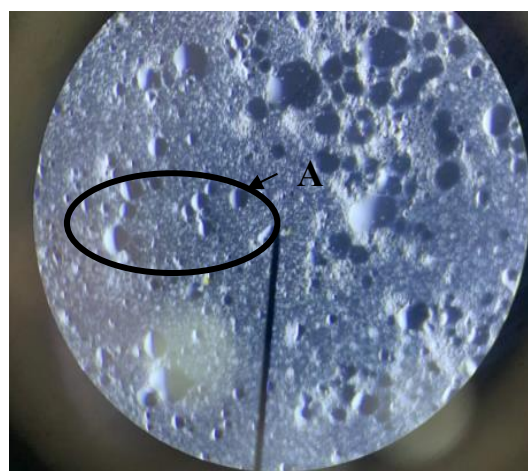
**Recipes for pancakes made from a mixture of gluten-free flours and a control sample**

Raw	Vitrati sirovini, g per 1 kg pancake semi-finished product			
	Control		Snail	
	Gross	Net	Gross	Net
Premium wheat flour	416	416	–	–
Milk	1040	1040	900	900
Chicken eggs	2 1/13 pcs	83	2 1/13 pcs	83
Green buckwheat flour	–	–	83,2	83,2
Quinoa flour	–	–	332,8	332,8
Garmelon puree	–	–	60	116
White sugar	25	25	15	15
Table salt	8	8	8	8
<b>Dough weight</b>	–	1538	–	1538
Oil	16	16	16	16
<b>Exit</b>	–	1000	–	1000

The next step was to study the microstructure of the dough (Figure 2).



(a)

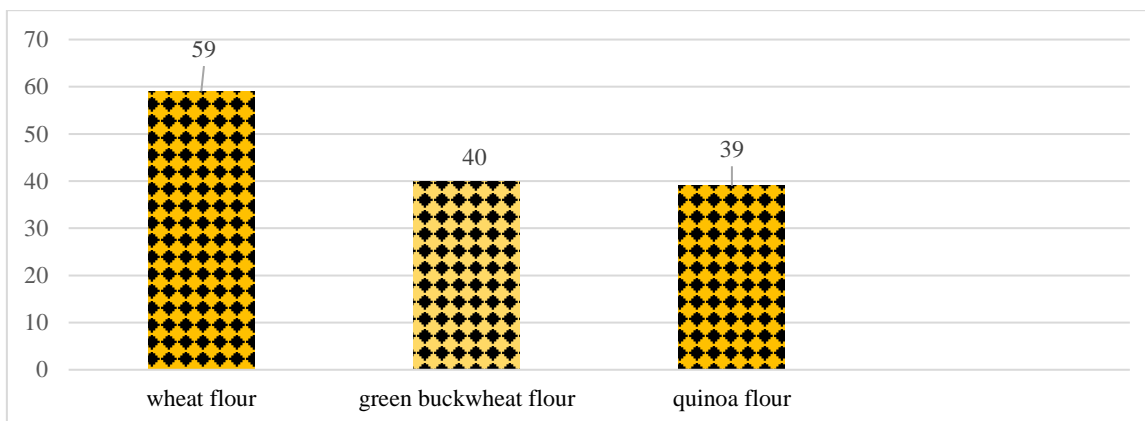


(b)

**Fig. 2 – Microstructure of the dough:**  
a) control, b) "Snail" (x100 times)

According to the results of the research (Fig. 2), it was found that the dough of the developed gluten-free dish has a high content of bubbles (**figure A**), which is associated with the specific protein-polysaccharide composition of the recipe composition, in contrast to the dough based on wheat flour (**figure B**), which is characterized by better gas-holding capacity when whipped.

The main indicator of the quality of ready-made flour culinary dishes is the kinematic viscosity of the dough from which they are prepared (Figure 3).



**Rice. 3 – Kinematic viscosity of pancake dough, m<sup>2</sup>/s**

The results of the study of the kinematic viscosity of the dough (Fig. 3) indicate that the dough of green buckwheat and quinoa has a lower viscosity, which leads to the need to increase the share of these types of flour in the recipe. Therefore, in order to obtain the desired properties, it is advisable to mix green buckwheat flour with quinoa seed flour, which confirms the feasibility of the selected ratios of these types of flour.

Based on the physicochemical quality parameters of ready-made pancakes from mixtures of gluten-free types of flour (Table 4), it was found that the mass fraction of moisture of the studied samples varies in the range of 44.2-46.9 %; titrated acidity 3.4-3.9 degrees; the mass fraction of sucrose in the studied samples is 13.2-13.5%; There is no gluten in the test samples.

**Table 4**

**Physicochemical Indicators of Quality of Pancakes from a Mixture of  
Gluten-Free Flours**

<b>Indicator</b>	<b>Control</b>	<b>Snail</b>
Mass fraction of moisture, %	44.2±0.2	46.5±0.2
Acidity, deg.	3±0.1	3.4±0.1
Fat weight, %	6.9±0.1	6.5±0.1
Масова частка цукру, %	11.7±0.5	13.2±0.5
Gluten content, mg/kg	30	–

**Conclusions and suggestions.** Despite the wide range of culinary products in the restaurant industry, the issue of shortage of specialized flour culinary products and dishes for people with food allergy to gluten is acute, which determines the relevance of the chosen research topic.

The dynamics of the spread of celiac disease is increasing every year, the number of people suffering from allergies is growing, in which the consumption of any product containing gluten poses a potential danger to health.

The possibility of using new types of gluten-free flour (quinoa and green buckwheat flour) in the recipes of flour culinary dishes – pancakes – has been studied.

The composition and technology of making ready-made pancakes from gluten-free types of flour are scientifically substantiated. New data have been obtained showing the feasibility of mixing various gluten-free types of flour in the recipes of flour culinary dishes, taking into account the nutritional value, organoleptic indicators, structural and mechanical properties of the dough, with the establishment of the optimal ratio of green buckwheat and quinoa.

Regulated organoleptic and physicochemical indicators of the quality of a new dish, which differs from the control of the absence of gluten, have been determined.

### **7.3 Моделювання технології сушеної продукції з модифікацією органолептичних властивостей**

Рибне господарство в Україні відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та економічного розвитку країни. За останні роки відзначається значним зростанням обсягів виробництва, особливо у сфері аквакультури.

Наразі більшість внутрішніх сировинних ресурсів – це 80% – становить прісноводна риба, яка вирощується завдяки аквакультурі. Серед найпопулярніших видів можна виділити коропа, сазана та товстолобика. Ці види риби відзначаються не лише високими показниками виробництва, але й популярністю серед споживачів.

Важливою перевагою рибної галузі в Україні є її спроможність забезпечувати населення якісною та доступною продукцією. Зростання виробництва риби також сприяє створенню нових робочих місць та підтримці розвитку сільських територій.

У цілому, рибне господарство України продовжує розвиватися, впроваджуючи сучасні технології та стандарти у виробництво, щоб забезпечити сталість галузі та сприяти економічному зростанню країни.

Харчування - це невід'ємна складова життєдіяльності людини і один з найважливіших факторів, які впливають на здоров'я. Основними принципами харчування є:

- зниження споживання тваринного жиру. Жирна їжа тваринного походження багата шкідливим холестерином, який, в свою чергу, відкладається на судинах у вигляді бляшок. Вони сприяють порушенню кровотоку, в тому числі і в судинах, які живлять саме серце.

- включення в раціон жирних кислот Омега-3. Жирні кислоти сприяють зниженню рівня холестерину в організмі, заважають процесу тромбоутворення і знижують артеріальний тиск.

- вміст корисних білків (17-18 г/100г), великої різноманітності вітамінів А, Е, С, РР, групи В - В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> і В<sub>12</sub> і мінералів – йоду, міді, кальцію, марганцю, калію, сірки, фтору, заліза і цинку можуть бути корисними для здоров'я людини, багатообіцяючими для лікування, та важливими у процесі реабілітації.

У зв'язку з цим, актуальним стає вивчення перспектив розвитку технологій продуктів харчування із рибної сировини.

Вже запущено в роботу онлайн-платформу «Риба-Допомога-Захист», яка консолідує в єдиній інформаційній системі дані про наявність риби та рибопродукції, що може бути використана для продовольчих потреб в умовах воєнного стану, переробні потужності для виробництва продукції з водних біоресурсів, продавців рибної продукції, можливості з надання послуг вантажних перевезень, волонтерські та інші організації, які можуть тим чи іншим шляхом сприяти забезпеченню продовольчої безпеки України.

На сьогоднішній день снекові продукти користуються популярністю серед споживачів у всьому світі. Сучасний темп життя зумовлює необхідність швидкого і зручного варіанту для перекусу.

Рибні снеки виступають як високоцінна альтернатива, оскільки вони не лише задовольняють потребу у перекусі, а й мають високу харчову цінність. Асортимент таких снеків різноманітний і включає солоно-сушені продукти, виготовлені з минтая, хека, бичків, тунця, окуня, тріски, камбали, ставридових та інших видів риби.

В умовах жорсткої конкуренції на ринку снеків важливо покращувати органолептичні характеристики продукції, підвищувати харчову цінність та продовжувати термін зберігання готових виробів. Інноваційні технології та використання нових інгредієнтів можуть сприяти цьому, роблячи рибні снеки більш привабливими для споживачів і відповідаючи сучасним вимогам щодо смаку, якості та здоров'я.

Для покращення органолептичних показників сушених рибопродуктів, а також для збільшення термінів їх зберігання застосовуються різні види натуральних харчових речовин – екстракти рослин, соуси.



Застосування різних соусів у технології виготовлення сушених рибних продуктів, зокрема рибних снєків, є важливою складовою для створення різноманітного смакового профілю та задоволення гастрономічних вподобань споживачів. Додавання соусів може значно покращити органолептичні характеристики продукції.

У контексті харчової промисловості асептичні властивості є важливим показником для збереження продуктів від мікробіологічного забруднення та забезпечення їх тривалого зберігання без втрати якості. Асептичні властивості соусів і екстрактів рослинної сировини обумовлені наявністю в них органічних кислот, фітонцидів. Органічні кислоти, альдегіди, кетони, спирти впливають на формування смако-ароматичних властивостей соусів.

Впровадження перспективних технологій виробництва продуктів харчування із рибної сировини забезпечить високу конкурентоспроможність на європейському ринку споживання.

З метою стимулювання попиту та розширення ринків збуту, виробники снєків безперервно розширюють свій асортимент, представляючи інноваційні продукти. На українському ринку представлено великий вибір снєків, призначених для різноманітних смакових вподобань, і цей асортимент істотно відрізняється від того, що пропонується за кордоном.

Структура ринку снєків в Україні відзначається різноманітністю, що впливає на показники експорту та імпорту. Деякі види снєків є об'єктом лише імпорту, зокрема ті, що виготовлені з екзотичних фруктів та ягід. Однією з таких популярних баз для снєків є арахіс. Насіння стає найбільш популярним снєком, який Україна активно експортує в інші країни [286, 287, 288].

Основними виробниками, які визначають ринок снєкової продукції в Україні та виробляють найбільш відомі торговельні марки снєків, є наступні компанії: ПП «Колосов» є представником 2 торгових марок (ТМ), «Лакомка» та «Сімейні». ТМ «Лакомка» – це насіння соняшнику смажене та фасоване в поліпропіленові металізовані пакетики, яке має середню ступінь прожарювання. ТМ «Сімейні» є насінням соняшнику смаженого, вищого гатунку, фасованого в

поліпропіленові металізовані пакетики, середнього ступіня прожарювання; Компанія «Крафт Фудз Україна» виробляє картопляні чіпси «Люкс» і «Estrella», екструзійні чіпси «Cerezos» (Черезос), кукурудзяні чіпси «Patos»; Компанія «Frito Lay» (ТОВ «Сандора» є офіційним дистриб'ютором в Україні) випускає на ринок картопляні чіпси торгової марки «Lay's»; Компанія «Захід» випускає рибні снеки під торговою маркою «Капітан», арахіс «Міцний Горішок», сухарики «Аміго», насіння, фісташки та арахіс в шкаралупі торгової марки «Захід», горішки преміум-класу «Захід Преміум» і насіння, ядра соняшника «38 калібр».

Компанія «S-Group» виробляє солоні горішки «Козацька розвага», сухарики торгових марок «Флінт» і «Fitto», солоні горішки, фісташки та чіпси під торговою маркою «Мачо», сушені морепродукти «Морські», горішки «FanNut» та «Red Pistachio», картопляні чіпси «Kartofan» та смажене насіння «Semki» [289].

Таким чином, аналіз ринку снеків свідчить про те, що ринок є досить насиченим, з високою присутністю іноземних компаній, з яким важко конкурувати українським виробникам.

Аналіз статистичної інформації щодо стану та тенденцій розвитку на ринку снеків, дозволив зробити наступні висновки. Згідно даних Держкомстату України [286], найбільш вагомою категорією снекової продукції в продажах (в грошовому вираженні) є сухарики та насіння з масовою часткою близько 30%, на другому місці – горіхи та чіпси з масовою часткою близько 20% , на третьому місці – морепродукти з масовою часткою близько 13%. 29% Сухарики та насіння; 21% Фісташки; 19% Чіпси; 13% Морепродукти; 10% Арахіс; 8% Інше [286, 289].

Сухарики та насіння стали справжнім хітом серед продуктів споживання, і річне зростання їх продажів свідчить про беззаперечну популярність даного сегменту. Це пояснюється тим, що сухарики та насіння майже не піддаються впливу сезонності, що робить їх привабливими для споживачів у будь-який час року. Крім того, їх низька вартість робить ці продукти доступними для широкого кола споживачів.

Слід зазначити, що в різних регіонах України спостерігається відмінність щодо споживання снєків. На заході України переважає популярність сухариків, тоді як на сході країни велика увага приділяється насінню. Це може бути пов'язано з культурними відмінностями та традиціями споживання.

Згідно з даними Держкомстату, в середньому українець споживає близько 1,5 кг снєків щороку. Це свідчить про те, що сухарики та насіння стали не лише перекусом, але й стали частиною щоденного раціону харчування для багатьох людей, віддавши їм перевагу завдяки смаковій привабливості та доступності.

В той же час, близько 25% населення України використовують снєки щодня [286]. Якщо порівнювати цей показник із середньорічним споживанням снєків в Європейському Союзі, то він є дуже низьким. Наприклад, споживання снєків на одного споживача ЄС складає 5-6 кг за рік, а на одного споживача США – 10 кг за рік [289].

Сучасні технології виробництва рибних снєків є актуальним питанням для України. Ринок снєків багатофункціональний, є перспективним для нашої країни.

Характеристика поняття «снєк» є досить різноманітною. Саме поняття «снєк» на ринку харчових продуктів з'явилося в середині 90-х років ХХ століття. «Снєк» в перекладі з англ. мови означає «легка закуска».

Ринок снєків в Україні представлений лінійкою як вітчизняних, так і зарубіжних виробників, які намагаються задовольнити попит з боку споживачів. У сучасних умовах глобалізованого світу снєки є найпопулярнішим видом закусок. Доступність, зручність у використанні, цінова політика привертають на увагу людей великих міст і мегаполісів, а їх продаж відбувається практично в кожній торговельній мережі. Снєки мають тривалий термін зберігання, привабливу упаковку та зовнішній вигляд [290].

На ринку харчових технологій існують різноманітні види снєків: чіпси, філе, соломка, стружки, смужки, кільця, слайди. Їх виробництво вимагає особливих технологій, що гарантують високоякісний продукт та збереження біологічно активних речовин. Харчування - це невід'ємна складова

життєдіяльності людини і один з найважливіших факторів, які впливають на її здоров'я. У полі наших інтересів снеки з риби [291].

Попит на снеки з риби стабільно високий. Особливу увагу необхідно приділити високоякісним рибним продуктам та технологіям їх приготування. Таким продуктом є снеки з риби, які будуть користуватися значним попитом, завдяки низькому вмісту жирів та багатому набору мікроелементів. Важливим критерієм корисності та поживних властивостей харчових продуктів є наявність білковмісних речовин, бо споживання білка впливає на тривалість життя людини. Рибні снеки - багате джерело поліненасичених кислот (омега-3), кальцію, фтору, калію, селену та фосфору. Включення в раціон жирних кислот Омега-3 є важливою складовою збереження здоров'я особистості. Жирні кислоти сприяють зниженню рівня холестерину в організмі, заважають процесу тромбоутворення і знижують артеріальний тиск.

Виділяють різні способи сушіння рибних снеків:

Спосіб 1: Природна сушка.

Спосіб 2: Інфрачервоні шафи для сушіння снеків.

Спосіб 3: Конвективна або теплова камера [292] та ін.

До основних напрямів розвитку технології рибних снеків можна віднести виробництво продукції підвищеної харчової цінності за рахунок використання натуральних добавок, зменшення частки солі, збільшення рівня використання харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин, біфідобактерій.

З метою збільшення споживання й розширення ринків збуту, виробники снеків постійно оновлюють асортимент продукції, створюючи нові продукти [290, 292, 293, 294, 295].

Сучасний аналіз ринку свідчить про значний прогрес у сфері технологій виробництва продукції з водних біоресурсів. Це область, яка зазнає інновацій та новаторських рішень з метою поліпшення процесів обробки риби та морепродуктів. Велика увага приділяється розвитку традиційних методів, таких як соління, коптіння, в'ялення і сушіння, а також впровадженню нових технологій для підвищення якості та конкурентоспроможності продукції.

У розвитку традиційних методів розроблений спосіб сухого посолу риби, що складається з трьох стадій: охолоджений посол за температури (+1...+3) °С; холодний посол за температури (-20...-21) °С; перехід до охолодженого посолу за температури (+1...+3) °С. У наукових дослідженнях розглянуто ефективний метод забезпечення оптимального збереження природних характеристик рибної сировини та виробництва продукції високої якості. Зазначений підхід базується на систематичному впровадженні консервуючого ефекту холоду як першочергового засобу та його поетапному заміщенні консервантом у вигляді кухонної солі.

Первинна стадія даного процесу включає в себе застосування холодильних технологій для забезпечення низьких температур зберігання рибної сировини. Це сприяє утриманню біологічно активних речовин та запобігає розмноженню мікроорганізмів, зберігаючи при цьому органолептичні та хімічні характеристики сировини.

Наступним етапом є плавний перехід від консервації холодом до використання кухонної солі як консерванта. Цей перехід обумовлено підтримкою необхідних умов для збереження рибної продукції в умовах, що виключають ефективне застосування холоду. Крім того, кухонна сіль виконує функцію не лише консерванта, а й впливає на органолептичні властивості продукції, підсилюючи смакові та ароматичні якості.

Такий підхід вирізняється оптимальним збереженням якості рибної продукції і підтриманням її нативних характеристик протягом усього процесу виробництва. Отже, впровадження консервувальної дії холоду, що змінюється на консервувальну дію кухонної солі, є перспективним напрямком в оптимізації технологічних процесів у рибній промисловості з метою забезпечення високої якості та безпеки готової продукції.

Це пов'язано з більш високою швидкістю протікання теплових процесів, ніж дифузійних. Крім того, дія перемінних, у тому числі мінусових температур, змінює властивості продукту і води, інтенсифікує процес дозрівання рибної

продукції. Такий спосіб доцільно використовувати для посолу цінних, особливо жирних видів риби, виробництва делікатесної продукції.

Запропоновано раціональні технологічні режими для отримання якісної малосольної продукції. Обґрунтовано доцільність низькотемпературного посолу горбуші і гольця.

Досліджено вплив сухого способу посолу з додаванням цукрози на властивості сьомги, обробленої копильною рідиною, в процесі зберігання протягом 45 діб. Встановлено, що додавання цукру суттєво знижує вміст речовин у продукті, що взаємодіють з 2-ТБК.

Запатентований спосіб приготування сушеної риби, який відрізняється тим, що під час розбирання з риби знімають шкіру, а сушку риби здійснюють за швидкості обдування повітрям від 0,1 м/с до 5,0 м/с. У цьому випадку рибу спочатку сушать за температури повітря від 0 до 10 °С і відносної вологості повітря 100% протягом 4-6 год., потім сушать сухим повітрям з температурою від 0 до 10 °С протягом 8–12 год.; кінцеву сушку ведуть сухим повітрям з температурою від 15 до 30 °С до вмісту вологи у готовому продукті не більше 45 %. Після сушки в готовий продукт вносять прянощі і/або смакові добавки.

У численних дослідженнях вивчена можливість отримання сухої рибної основи з малоцінних продуктів розбирання риби (товстолобика, карпа, тріски): голів, плавників, хвостів, хребтових кісток, луски і шкіри. Рибні відходи піддавали вакуумно-сублімаційній або конвективній сушці. Вакуумно-сублімаційну сушку проводили шляхом випаровування льоду, за рахунок підведеного до нього тепла і подання необхідного тиску. Закінчення процесу сушки визначали за досягненням рівноважної концентрації вологи у продукті, яка становила 8,7%. У контексті отримання сухої рибної основи, проведено експерименти з конвективною сушкою, що використовується для видалення вологи з рибної сировини. Процес реалізовується при невисокій температурі, і включає в себе випаровування вологи, що міститься у сировині. Це досягається за допомогою передачі тепла, яке підводиться до сировини, тим самим ініціюючи процес випаровування.

Застосування конвективної сушки визначається необхідністю забезпечення детального контролю температурних параметрів під час процесу. Невисока температура важлива для уникнення термічного руйнування чутливих компонентів рибної сировини та для забезпечення збереження органолептичних та поживних властивостей продукту. Підведення тепла до рибної сировини у конвективній сушці активує процес випаровування вологи, що ефективно концентрує корисні складові сировини. Такий метод сушки дозволяє отримати суху рибну основу з високим вмістом корисних речовин і зберегти більшість природних ароматів та смакових якостей.

Цей підхід до конвективної сушки для отримання сухої рибної основи відзначається технологічною ефективністю та здатністю до збереження якості вихідної сировини, що робить його привабливим напрямком в контексті виробництва високоякісних рибних продуктів. Рівноважна вологість встановлювалась після 90 хв. сушки, а вологість продукту становила 8% [296].

Промисловий процес сушіння риби та морепродуктів, використовуючи спеціалізоване обладнання, є важливим етапом для виробників, які прагнуть забезпечити якісний продукт для оптової та роздрібною торгівлі. Підвищення якості фінальних виробів обумовлено не лише правильним вибором сировини та її якістю, але й строгою відповідністю технологічним процесам виробництва. Продукція проходить обов'язкові перевірки на відповідність встановленим стандартам, перш ніж потрапити до реалізації для споживачів.

Ключові етапи технології виробництва сушеної риби та снєків включають правильне посолення і дотримання температурного режиму під час сушіння. Важливо виключити вплив зовнішнього середовища, такого як природне сушіння під впливом вітру і сонця. Забезпечення незалежності від пори року та погодних умов є важливим аспектом процесу сушіння.

Додатково, оптимізація часових витрат на виготовлення кожної партії виробу має ключове значення для отримання продукції високої якості при ефективному використанні фінансових ресурсів. Цей підхід дозволяє виробникам досягти якісних результатів при мінімізації витрат часу та

фінансових ресурсів, що визначається як важливий елемент виробництва сушених рибних продуктів та снєків.

Виділяють кілька способів сушіння риби та снєків. Серед них найпопулярнішими є методи природного, інфрачервоного, кліматичного сушіння та з використанням конвективної сушильної камери.

Сушарка для риби промислова може мати один із трьох типів камер: тунельні, шафові, камерні.

Сушарки виконують у варіантах як безперервної, так і періодичної дії. Найпопулярніші - це камери тунельного типу. Вони мають найбільшу продуктивність. Однак при великих обсягах складно домогтися рівномірної якості продукції. Виходом може стати використання камерних або шафових варіантів. Вони менш продуктивні, але більш ефективні.

Процес завантаження сировини в різні моделі виробничих систем визначається індивідуальними правилами, специфічними для кожного виробництва. В даному контексті використовуються дві ключові моделі - вертикальна підвіска та горизонтальне розташування. Однак, незалежно від вибраної моделі, обов'язковим є уникання контакту між заготовками сировини.

Вертикальна підвіска передбачає розміщення сировини у висічених положеннях, що забезпечує ефективне використання простору та сприяє обробці великої кількості сировини одночасно. Завантаження проводиться вздовж вертикальних ліній, де різні шари або етапи сировини розташовані один над одним, забезпечуючи ефективне управління процесом.

У випадку горизонтального розташування сировини, заготовки розміщуються горизонтально, що забезпечує зручність та простоту завантаження. Кожен шар сировини розташовується рядом з іншим, але при цьому важливо дотримуватися принципу, щоб заготовки не стикалися між собою. Це важливо для уникнення подальших ушкоджень, деформацій чи змін характеристик сировини в процесі переробки.

Такий підхід до завантаження сировини не лише забезпечує ефективність та продуктивність виробничого процесу, але й гарантує високу якість та



непошкодженість кінцевих продуктів завдяки уникненню контакту між ними на етапі завантаження [297].

Отже, запропоновані технології переробки риби та морепродуктів відкривають перспективи не лише для забезпечення високої якості готової продукції, але й для підвищення її харчової цінності та стійкості протягом періоду зберігання.

За використання нових технологій виробництва можливо досягти значних поліпшень у збереженні органолептичних та хімічних характеристик рибної продукції. Інтеграція конвективної сушки, спірання на консервувальну дію холоду та кухонної солі створює комплексний підхід до забезпечення оптимальних умов обробки рибної сировини.

Гарантується не тільки якість продукції, але й відзначається підвищення її харчової цінності. Збереження біологічно активних речовин та поживних елементів рибної сировини під час технологічних процесів сприяє збереженню корисних властивостей продукту. Додатково, ці технології розширюють термін зберігання продукції, забезпечуючи стійкість до псування та погіршення якості протягом тривалого періоду. Такий комплексний підхід до переробки риби відображає сучасні тенденції в харчовій промисловості, спрямовані на досягнення високих стандартів якості та ефективності виробництва.

## SECTION 8. FORESTRY

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.8.1

### **8.1 Закономірності вмісту та розповсюдження важких металів від фізико-хімічних властивостей ґрунтів в умовах степового Придніпров'я**

Ряд важливих державних установ з питань охорони природи і раціонального використання природних ресурсів орієнтує біологічну науку на розвиток прикладних та фундаментальних науково-досліджуваних робіт по захисту і відтворенню рослинного світу, посиленню його захисній і санітарно-гігієнічних функцій.

Важкі метали – це елементи з металевими властивостями й атомною масою > 20. Серед найпоширеніших важких металів – абруднювачів є Cd, Cr, Hg, Pb, Cu, Zn і As.

Забруднення ґрунту важкими металами навколишнього природного середовища було прискорене сучасним суспільством внаслідок індустріалізації, швидкого розширення народонаселення та інтенсифікації сільського господарства. Накопичення важких металів часто призводить до деградації ґрунту та порушення функціонування екосистеми в цілому. Крім того, важкі метали потрапляють до трофічних ланцюгів із забрудненого ґрунту, води та повітря, а отже, спричиняють забруднення харчових продуктів, створюючи таким чином загрозу здоров'ю людей і тварин.

Присутність важких металів у навколишньому середовищі має велике екологічне значення через їхню токсичність у певних концентраціях, переміщення та нездатність до біологічного розкладання, що відповідає за їх накопичення в біосфері [298, 299].

Ґрунт є життєво важливим природним ресурсом для забезпечення потреб людини в якісному харчуванні та якісному навколишньому середовищі

### 8.1.1.1 Забруднення ґрунтів важкими металами: джерела, показники та оцінка

У всьому світі зареєстровано понад 10 мільйонів місць забруднення ґрунту, причому понад 50% місць забруднені важкими металами та/або металоїдами (такими як миш'як) (табл. 1). Забруднення важкими металами має сукупний світовий економічний вплив та оцінюється в понад 10 мільярдів доларів США на рік [300].

Таблиця 1.1 – Рівень забруднення ґрунтів у світі  
(ADEC ,2010; ЕРМС. 2014; USEPA, 2014)

Країна	Кількість ділянок забруднення	% забруднення важкими металами (металоїдами)
Глобальне забруднення	>10000000	>50
США	>100000	>70
ЄС	>80000	37
Австралія	>50000	>60
Китай	1.0 million km <sup>2</sup>	>80

Джерела забруднення важкими металами включають природні процеси та антропогенну діяльність. До ґрунтів можуть унаслідок вихідних матеріалів, таких як ті, що отримані з порід, збагачених металами і чорним сланцем [301, 302].

Антропогенні джерела забруднення важкими металами включають видобуток корисних копалин, плавлення, спалювання викопного палива, утилізацію відходів, корозію та сільськогосподарські методи. Наприклад, зрошення промисловими стічними водами призвело до забруднення важкими металами великої площі орних земель та одночасно призвело до забруднення мільйонів тонн зерна щороку в Китаї. Багато біогеохімічних властивостей/параметрів були запропоновані та застосовані для визначення забруднення ґрунту важкими металами: хімічні індикатори (загальний/відновлюваний вміст, доступна/вилучена кількість та фракціонування); біохімічні показники (активність ферментів, гідроліз FDA);

мікробні показники (мікробна біомаса, мікробний коефіцієнт, питома дихання, мікробний метаболічний коефіцієнт і структура мікробного співтовариства); індикатори ґрунтових тварин (дощові черв'яки-кількість і різноманітність); і показники рослин (вихід біомаси, поглинання металів і метал накопичення в їстівних частинах). Однак найбільш часто використовуваним показником забруднення ґрунту важкими металами все ще залишається валовий вміст, хоча вміст рухомої форми важких металів вже частіше зустрічається в якості характеристики забруднення компонентів навколишнього середовища.

Забруднення важкими металами є глобальною проблемою, яка вимагає спільних зусиль урядів, науковців та спільноти. Урядові постанови мають відігравати важливе значення як для контролю джерел, так і для ліквідації забруднення. Для сільськогосподарських ґрунтів встановлені визначені норми щодо вмісту важких металів (табл. 2), але широкі діапазони їх умісту в ґрунтах у різних країнах вносять певні розбіжності щодо критичного значення кожного забруднювача.

Таблиця 2 – Норми важких металів у сільськогосподарському ґрунті (мг/кг)  
(US EPA, 2002; ЕЕА, 2007; ТМС, 2007; СМЕ, 2009; ЕРАА, 2012; НЗМЕ, 2012;  
ЕРМС, 2015);

Країна	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
Австралія	20	3	50	100	1	60	300	200
Канада	20	3	250	150	0.8	100	200	500
Китай	20-40	0.3- 0.6	150- 300	50-200	0.3- 1.0	40-60	80	200- 300
Німеччина	50	5	500	200	5	200	1000	600
Танзанія	1	1	100	200	2	100	200	150
Нідерланди	76	13	180	190	36	100	530	720
Нова Зеландія	17	3	290	>104	200	N/A	160	N/A
Велика Британія	43	1.8	N/A	N/A	26	230	N/A	N/A
США	0.11	0.48	11	270	1	72	200	1100

Оцінка забруднення ґрунтів важкими металами передбачає відбір зразків репрезентативних ґрунтів на заданій площі, аналіз металів і відповідних ґрунтових характеристик (таких як кислотність, гранулометричний склад, карбонатність), а також порівняння цих значень відповідно до нормативних стандартів. Найбільш часто використовувані способи розрахунок включає потенційний індекс екологічного ризику Хакансона (RI), індекс геоаккумуляції (GI), збагачення фактор (EF), комплексний індекс Nemerо (NCI) та індекс забруднення (PI). Динамічний розвиток ситуації вимагає постійного проведення подальших досліджень, вдосконалення нормативних стандартів та методів оцінки [303, 304].

#### **8.1.1.2 Ідентифікація факторів, що визначають концентрацію та просторовий розподіл важких металів**

Проаналізуємо роботи [300, 304] з визначення основних факторів, що впливають на розповсюдження важких металів (ВМ) а також ризик, який вони несуть для навколишнього середовища. Аналіз основних компонентів використовувався для визначення потенційних факторів, що впливають на накопичення ВМ, із застосуванням двофакторного аналізу для подальшого вивчення важливості будь-якого фактора. Для дослідження закономірності розподілу ВМ створено варіограми. Відмітимо, що варіограми Cd і Pb були подібними, що свідчить про помірну просторову залежність концентрацій цих металів, тоді як варіограма Zn вказувала на відсутність просторової безперервності для цього металу. Нами було встановлено, що Zn, Pb і Cd перевищили граничні рівні, а на деяких ділянках значення вмісту Cd значно перевищело нормативне значення, створюючи сильний екологічний ризик для навколишнього середовища. Наш аналіз проведених нідерландськими вченими досліджень підтвердив, що вміст важких металів у материнській породі був одним із найважливіших факторів, що впливає на накопичення ВМ. Структури розподілу Zn, Pb і Cd вказують на те, що накопичення Cd, а також у меншій мірі

Pb і Zn, головним чином є результатом переносу на великі відстані з промислово розвинутих районів, тоді як на концентрації Zn також впливають місцеві джерела, такі як історичний видобуток корисних копалин (цинкової руди).

Кількість Zn, Pb і Cd, накопичених в поверхневих шарах ґрунтів досліджуваного регіону вказують на те, що значна частина території, що підлягала вивченню, є сильно забрудненою. Цей факт підтверджується значеннями різного ступеня показників, що свідчать про потенційні екологічні ризики, оскільки концентрації цих ВМ значно перевищують гранично допустимі значення.

Проте просторовий розподіл ВМ був дуже мінливим, підпадаючи під вплив різних факторів. Було встановлено, що ґрунтовий вміст ВМ може сильно варіювати залежно від материнської породи (незалежно від того, чи містить вона карбонати). Вченими було виявлено, що материнська порода здійснює первинний вплив і контроль за розповсюдженням ВМ. Але результати досліджень також частково підтвердили гіпотезу про те, що, крім основної материнської породи, не менш важливим фактором, що впливає на поширення ВМ, є географічне місцезнаходження.

Географічні фактори, такі як схил, рослинність, альтитуда та експозиція, були виявлені як другорядні значення в некарбонатних ґрунтах і третинні – в карбонатних ґрунтах. Саме в карбонатних ґрунтах, за нашими дослідженнями, вміст ВМ в материнській породі був найважливішим фактором, що контролює їх розподіл у поверхневих шарах ґрунту. У некарбонатних ґрунтах, властивості, що впливають на розчинність ВМ (рН і вміст SO<sub>x</sub>) були важливішими за ВМ. Концентрації даних елементів (Zn, Pb і Cd), згідно отриманої моделі розподілу, показали, що в основному Cd, але також, меншою мірою Pb і Zn, накопичуються на значній відстані від автомагістралі промислово розвинених районів [300, 305].

#### **8.1.1.2.1 Біологічна роль мікроелементів**

Мікроелементи – це хімічні елементи ( Mn, Cr, Ni, Mo, V, Cu та інші), які містяться в організмах в низьких концентраціях, але не дивлячись на це їм

належить значна біологічна роль. Мікроелементи позитивно впливають на ріст та розвиток організмів, якщо поступають в них в потрібній кількості. Як надлишок, так і нестача мікроелементів призводить до порушення життєдіяльності організмів, тому що мікроелементи входять до складу цілого ряду ферментів, вітамінів, дихальних пігментів. До мікроелементів також відносяться і важкі метали [306].

Усі досліджені мікроелементи відносяться, згідно класифікації А.І. Перельмана [307], до таких груп: водні мігранти, рухомі і слабкорухомі в окислювальному середовищі та інертні в різко відновному (нікель, мідь, ванадій, хром, молібден та ін.); водні мігранти, рухливі у відновлювальних (глейові) умовах і інертні в окислювальних (марганець);

**Нікель.** Нікель відноситься до першої групи водних мігрантів. Для ґрунту характерні сполуки двовалентного нікелю [307, 308].

У кислих і слабокислих водах нікель може мігрувати у форми  $Ni^{+2}$ , випадати з розчину в нейтральному і лужному середовищі. Карбонати нікелю важкорозчинні, вони порівняно легко переходять в розчин у водах. В основному середовищу нікель утворює високорозчинні гідрати, які не вимиваються. Нікель, як і інші важкі метали фіксуються за рахунок рослинних залишків у гумусовому шарі ґрунту, внаслідок чого відбувається його накопичення.

Кларк нікелю в літосфері 0,008% [307]. Вміст нікелю в ґрунтах України в середньому дорівнює  $4 \cdot 10^{-3}$  % [309].

Вміст і розподіл нікелю в ґрунтах залежить від характеру ґрунтоутворюючих порід, які являються майже єдиним його джерелом надходження в ґрунтах. А.П.Виноградов [301] показав, що вміст нікелю в ґрунтах, утворених на гранітах, – сліди, на диоритах –  $3 \cdot 10^{-5}$  %, на серпентинітах –  $5 \cdot 10^{-1}$ .

**Мідь.** Сполуки одновалентної міді нерозчинні. Серед солей двовалентної міді є як легко розчинні ( $CuSO_4$ ), так і важко розчинні, особливо сульфід міді. Мідь легко абсорбується негативно зарядженими колоїдами, що також обмежує її міграцію в ландшафті. Кларк міді в літосфері 0,007%.

Зола багатьох рослин містить більшу концентрацію купруму, ніж ґрунт, з чим пов'язано біогенне накопичення цього елемента у верхніх горизонтах ґрунтового профілю. Більша частина міді, ймовірно, мігрує разом з глинистими частками, які адсорбують йони купруму. Можлива і колоїдна міграція міді. Відомі колоїдні мідні мінерали.

У ландшафтах сухого клімату з характерним для нього нейтральними і лужними водами мідь малорухома. У степових ґрунтах відбувається біогенне накопичення міді в гумусовому горизонті.

У різко відновних умовах відбувається утворення нерозчинних сполук міді. Ці явища можливі в деяких болотяних ландшафтах, солончаках і інших місцях анаеробного розкладання залишків тварин і рослин [307] .

**Ванадій.** Середній вміст ванадію в земній корі складає 200 мг/кг, основних породах – 300–500 мг/кг, в кислому середовищі – 17–68. Геохімія ванадію тісно зв'язана в біосфері з органічною речовиною. Вміст ванадію в ґрунтах коливається від 50 до 260 мг/кг, а середньому складає 100 мг/кг [301] .

**Хром.** Хром як і ванадій, концентрується головним чином в основних породах у вигляді малорозчинних сполук, тривалентного хрому. У різко окислювальних умовах при високих температурах можливе окислення тривалентного хрому до шестивалентного, що утворює розчинні хромати.

Кларк хрому в літосфері дорівнює 0,02 %, але в ультраосновних породах (дунитах, пироксенитах) його вміст складає 0,2%. У ґрунтах в середньому вміст хрому близько  $1,9 \cdot 10^{-2}$  %. Вміст хрому майже без виключення паралельний вмісту заліза [310]. Вміст хрому у чорноземах зазвичай вище, ніж в інших зональних ґрунтах [311].

**Молібден.** Кларк молібдену –  $3 \cdot 10^{-4}$  % [306]. За даними А.П. Виноградова [312] вміст молібдену в ґрунтах – 2,5 мг/кг.

В. А. Ковда та ін.[310] за вмістом загального молібдену розташовують ґрунти в такому порядку: чорноземи – максимальна кількість молібдену (4,6 мг/кг), підзолисті, болотяні, червоноземи – середній вміст молібдену; ґрунти низької біогенності – засолені, каштанові, сіроземи – мінімальна кількість



молібдену (1,0 мг/кг). Ґрунту України [313] в середньому містять валової форми молібдену у верхньому горизонті 0,9–11,4 мг/кг. Відсоток вмісту молібдену від його загальної кількості не перевищує 27,5 % у верхньому горизонті (з коливаннями 0,7–27,5 %) і 23,0 % – в нижньому (коливанням 0,78–23,0%).

**Марганець.** У ґрунтах відомі сполуки  $Mn^{+2}$ ,  $Mn^{+3}$ ,  $Mn^{+4}$ , наділені відмінними властивостями. Ґрунти степу та пустель несприятливі для накопичення марганцю, оскільки нейтральне і слаболужне середовище тут поєднується з високим окислювальним потенціалом. В результаті марганець легко переходить у форму  $Mn^{+4}$  ( $MnO_4$ ), важкодоступну для рослин. Тому типові степові трави (ковила та ін.) бідні марганцем, а у ґрунтах відсутня біогенна акумуляція цього елемента.

А. Власюк і інші у своїх роботах показали ефективність використання марганцевих добрив. Марганець є досить поширеним елементом. За даними А.П. Виноградова [314], марганець займає в таблиці Кларків 11–12 місце. Його кларк в літосфері складає 0,09%.

В. А. Ковда та співробітники [315] встановили, що найбільша кількість марганцю серед ґрунтоутворюючих порід характерна для базальтів ( $15 \cdot 10^{-2}$ ), піски є найбільш бідною породою ( $2 \cdot 10^{-2}$ %) за вмістом мангану.

Відносно багаті по валовому вмісту марганцю такі ґрунтоутворюючі породи як льосовидні суглинки, глини і лесси ( $6,8 \cdot 10^{-2}$ %) . Марганець – елемент інтенсивного біологічного накопичення [315, 316].

### **8.1.1.3 Характеристика кореляційного та регресійного аналізів**

Кореляційний аналіз дозволяє вивчати залежність, зв'язок між двома, трьома і більшою кількістю випадкових ознак.

За формою кореляційний зв'язок буває лінійним і нелінійним (криволінійним), за напрямком – прямим і зворотним, за величиною – від 0 до  $\pm 1$ , за кількістю корельованих ознак – парним і множинним.

Кореляційний зв'язок характеризується коефіцієнтом кореляції  $r$ . Кількісною мірою кореляційного зв'язку є коефіцієнт детермінації  $R$ , який визначається за формулою:

$$R = r^2 \cdot 100 \% \quad (1.1)$$

Коефіцієнт детермінації вказує на частку взаємного зв'язку між ознаками. Наприклад, якщо  $r = 0,3$ , то лише 9 % усіх змін однієї ознаки пов'язані зі зміною іншої ( $R = 0,3^2 \cdot 100 \% = 9 \%$ ).

Розглянемо залежність між двома ознаками  $Y$  і  $X$ . Кореляційне поле в цьому випадку будується шляхом нанесення експериментальних точок на координатну площину. З характеру розташування точок поля заздалегідь судять про форму залежності випадкових величин (наприклад, про те, що одна величина в середньому зростає або убиває в разі зростання іншої). Для встановлення коефіцієнта кореляції користуються формулою [317].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1.2)$$

Коефіцієнт кореляції дає більш точну інформацію про характер і силу зв'язку, ніж картина кореляційного поля.

Достовірність обчисленого коефіцієнта кореляції може бути доведена двома шляхами:

- 1) порівнянням розрахованого коефіцієнта кореляції  $r_{\phi}$  з табличним  $r_T$  ;
- 2) порівнянням коефіцієнта кореляції з критерієм Стюдента  $t$ .

Найбільш простий спосіб – установа достовірності розрахованого коефіцієнта кореляції порівнянням його з табличним значенням. Якщо  $r_{\phi} > r_T$ , вплив чинника на ознаку достовірний; навпаки, якщо  $r_{\phi} < r_T$ , коефіцієнт кореляції не достовірний і вплив чинника не істотний.

У випадку застосування критерію Стюдента для доказу достовірності  $r$  спочатку розраховують стандартну (квадратичну) похибку коефіцієнта кореляції за формулою:

$$m_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{N_n-2}} \quad (1.3)$$

де  $N_n$  – кількість зв'язаних пар.

Значення коефіцієнта кореляції записують з урахуванням його похибки:  $r \pm m_r$ . Потім обчислюють критерій Стюдента для коефіцієнта кореляції:

$$t_r = \frac{r}{m_r} \quad (1.4)$$

Якщо  $t_{r,\phi} > t_{r,t}$ , кореляційний зв'язок істотний, якщо  $t_{r,\phi} < t_{r,t}$  – недостовірний.

**Регресійний аналіз.** Логічним продовженням кореляційного аналізу є регресійний аналіз, який розвиває та поглиблює уявлення про кореляційний зв'язок. Якщо кореляційний аналіз дозволяє встановити лише форму і тісноту залежності між випадковим змінними, регресійний аналіз математично описує виявлену залежність, тобто дає можливість чисельно оцінити одні параметри через інші. Склавши та вирішивши рівняння регресії, можна виконати варіювання емпіричних ліній регресії, тобто моделювати спостережувану залежність шляхом підбора функції, графік якої є теоретичною лінією регресії. Якщо підібрана функція відбиває суть процесу або явища, то можливе прогнозування значень ознаки за межами виконаних спостережень.

Подібно до кореляції, регресія може бути парною (простою) і множинною, за формою зв'язку – лінійною і нелінійною, за залежністю – одnobічною (змінюється лише одна ознака під впливом іншої) і двобічною (змінюються обидві ознаки під дією одна одної). Регресія виражається декількома способами: шляхом побудови емпіричних ліній, шляхом складання рівняння і потім – побудови теоретичних ліній регресії, а також за допомогою коефіцієнта регресії.

Регресійний аналіз можливий за наявності усього лише декількох пар зв'язаних спостережень, але за умови сильних зв'язків між ознаками ( $r \geq 0,7$ ). Для виведення рівняння лінійної регресії вистачає двох пар спостережень.

Зазвичай поряд з рівнянням регресії приводиться коефіцієнт кореляції або кореляційного відношення, наприклад:  $y=0,1106x+0,298$ ,  $r= 0,75$  (це обумовлено практичним використанням рівняння регресії). З приведеного рівняння витікає, що вплив аргументу ( $x$ ) на функцію ( $y$ ) досить сильний. Тому, маючи у своєму розпорядженні дані про аргумент, можна по формулі рівняння регресії вчислити значення функції, не удаючись до польових спостережень.

Для зважених рядів точки емпіричних ліній регресії ( $x/y$ ,  $y/x$ ) визначаються як зважені середні арифметичні, для незважених рядів як середні малих груп вибірки. Обчисливши координати точок, наносимо їх на графік і сполучаємо прямою; в результаті виходять емпіричні лінії регресії. По графічному зображенню можна заздалегідь зробити висновок про характер зв'язку. При повній відсутності зв'язку емпіричні лінії розташовуються паралельно осям графіка. При повному зв'язку між  $x$ ,  $y$  ( $r = 1$ ) лінії регресії на графіку, побудовані по точках емпіричних ліній регресії ( $y/x$ ,  $x/y$ ), поєднуються.

Існує два способи складання рівнянь регресії:

а) спосіб координат точок, з використанням двох-трьох точок, розташованих на емпіричній лінії (бажано на початку, середині і кінці її), – для тих випадків, коли розрахунок не вимагає великої точності;

б) спосіб найменших квадратів, точніший оскільки для складання рівняння регресії притягуються усі зв'язані спостереження [316, 321].

#### **8.1.1.4 Об'єкти і методи дослідження**

Дана робота представляє собою дослідження кореляційних зв'язків вмісту та розповсюдження важких металів з фізико-хімічними властивостями ґрунтів.

##### **8.1.1.4.1 Об'єкти дослідження**

У даній роботі об'єктом дослідження являються : ґрунти різнотравно-констрицево-ковилевого степу (рис. 2.1 –2.2 (а,б) та суховатого бору (рис. 2.3–2.4 (а,б)).



Рисунок 2.1 – Об'єкт дослідження – Різнотравно-кострицево-ковилевий степ (а)



Рисунок 2.2 – Об'єкт дослідження – Різнотравно-кострицево-ковилевий степ (б)



Рисунок 2.3 – Об'єкт дослідження – Сухуватий бір (а)



Рисунок 2.4 – Об'єкт дослідження – Сухуватий бір (б)

У районі дослідження ділянки цілинної степової рослинності зберіглися головним чином по схилах балок і на узліссях байрачних лісів[299]. Причому рослинність пологих схилів на слабо середньозмитих ґрунтах наближається до зональної рослинності рівнинного суглинного степу, відмічає Морозов [307].

Для проведення спостережень [318, 319], наміченою програмою роботи, узята найбільш характерна для району разнотравно-кострицево-ковилевий степ на чорноземі звичайному суглинному, що дозволяє отримати чітке уявлення про зональний клімат, ґрунт і рослинність.

Типовим прикладом разнотравно-кострицево-ковилевого степу служить ділянка, яка розташована на вершині вододільного плато між р. Самара і р. Сороковушкой (Присамарський стаціонар, Дніпропетровської області), із слабким схилом в 1,50 північно-східній експозиції. Тип лесорослинних умов – суглинок сухий (СГ<sub>0-1</sub>). В травостой панує типчак борадчатий, тонконог витончений, чабрець Маршала. Покриття 85-100%. Ґрунт – чорнозем звичайний, карбонатний, малогумусний середньосуглинковий, на лесовидних суглинках. Ґрунтові води на глибині 40 м. Скипання з 46 см. По механічному складу ґрунт важкосуглинковий. Верхні горизонти більш пилюваті (41% пилю), ніж ґрунтоутворююча порода (36% пилю). Кількість гумусу, дорівнює 4,3% у верхньому горизонті, поступово убуває з глибиною. У верхніх горизонтах рН нейтральна, а з глибиною реакція переходить в лужну. Співвідношення Са:Мг дорівнює 9,7. З глибиною доля магнію трохи зростає і співвідношення падає до 7,0. Аналіз водної витяжки показує відсутність засолення. Сухий залишок рівний 0,02–0,1%.

Режим зволоження різнотравно-кострицево-ковилевого степу характеризується локальним коефіцієнтом зволоження [320] :

$$\text{ЛКУ} = P / E_0$$

де P – кількість річних опадів;

E<sub>0</sub> – сума вологи, що випаровується за цей період [301].

#### **8.1.1.4.2 Ґрунти сухуватого бору**

Пробна площа, яка розташована на другій піщаній терасі долини р. Самари, на вершині, вкритої донними горбками, є типовий бір. Тип лесорослинних умов – пісок сухуватий (П<sub>1</sub>). Тип світлової структури – освітлений, світловий стан – нормальний. Тип деревостою – без чагарникового підліска. Вік сосни 70–90 років, висота – 15–21 м, діаметр стовбура 30–45 см, зімкненість 0,5. Ділянки з соснами, зростаючими групами чергуються з відкритими місцями, де панують ксерофільні злаки та піщане різнотрав'я. Трав'яний покрив складається з костриці Беккера, полину піщаного, цмина піщаного, їжи збірної, дроку фарбувального. Покриття під деревами 25–30%, на полянах 65–70%.

Лісова підстилка тришарова, цілісна, рихла, труховидної структури. Перший горизонт складається зі свіжоопалої цілісної хвої, шишок і легко відділяється від другого горизонту, що більш розклався. Третій труховидний шар сухий, перемішаний з ґрунтом. Запас підстилки 12,0 т/га, потужність – 2,47 см. Загальна кількість опаду 2,89 т/га.

Ґрунт – дерново-боровий, малогумусний, середньовилужений піщаний, слаборозвинений на древньоалювіальних відкладеннях [321].

Механічний склад дерново-борових ґрунтів представлений піском зв'язним, дрібнозернистим. Ґрунти арени бідні гумусом (0,4–2,7%) і мають кислу реакцію (рН =5,8–6,4), малу ємність поглинання (3,1–4,1 мг/екв 100 г ґрунту) і незначну кількість поглинених основ (2,3–3,5 мг/екв 100 г ґрунту).

Ґрунтові води залягають на глибині 3,5 м. Перевищення площі над рівнем річки 12,5 м [321].

#### **8.1.1.4.2 Методи дослідження**

При виконанні дисертаційної роботи був застосований біогеоценотичний підхід, виразом якого є теорія В. М. Сукачова про біогеоценози [322]. В ході проведення наукових досліджень нами були застосовані загальнонаукові та спеціальні методи: польовий (відбір ґрунтових зразків, опаду та підстилки),



лабораторний (фізико-хімічний аналіз ґрунтів, визначення вмісту валових і рухомих форм кадмію та інших важких металів), математичний (статистична обробка отаманих результатів – проводилась наступна математична обробка отриманих даних, при  $P > 0,05$ )

Здійснити оцінку протікання процесів при антропо-техногенному забрудненні кадмієм дозволяють декілька десятків інструментальних методів аналізу, зокрема спектральні, хроматографічні, електрохімічні, але найбільш широкою є група спектральних та інших оптичних методів аналізу, які інтенсивно застосовують у дослідженнях ґрунтів, рослин та інших біологічних об'єктів [323, 324]. В наших дослідженнях був застосований атомно-абсорбційний аналіз – фізичний метод дослідження елементного складу речовини. За важливими для експериментальної та практичної роботи показниками цей метод кращий, ніж багато інших, і більшою мірою задовольняє вимоги науки та практики. Завдяки чутливості атомно-абсорбційного методу можливо отримати найменшу концентрацію елемента, яка викликає поглинання в 1 %.

Основними показниками, що підлягали оцінці в процесі визначення нами фізико-хімічних властивостей ґрунтів були: вміст гумусу, гранулометричний (механічний) склад ґрунту, вміст карбонатів, рН в ґрунтах. Кількість гумусу визначалась методом І. В. Тюріна, гранулометричний (механічний) склад ґрунту визначався за Н. А. Качинським, визначення вмісту карбонатів у ґрунті проводилось за методом А. Ф. Вадюніної, З. А. Корчагіної, значення рН вимірювали за допомогою рН-метру – потенціометричний метод аналізу (ДСТУ 5041:2008, ДСТУ 4768:2007, ДСТУ ISO 10390:2001) [325].

Для визначення валових форм Cd у ґрунті була застосована методика [326, 327]: 1. 5 г повітряно-сухого ґрунту залили 25 мл  $\text{HNO}_3$  (1:1), нагріли на піщаній бані протягом 10 хв., долили 5 мл  $\text{H}_2\text{O}_2$  і знову нагріли на піщаній бані протягом 5–10 хв. 2. Суміш охолодили, відфільтрували у мірній колбі на 50 мл. 3. Фільтри з ґрунтом перенесли в стаканчики, долили 20 мл  $\text{HNO}_3$  (1М) і знову нагріли до  $t=100$  °С. 4. Охолодили, відфільтрували в ті ж мірні колби, довели до

мітки дистильованою водою. Вміст валових форм важких металів оцінили за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометру С-115-М1 (полум'яний варіант).

Для вилучення рухомих форм Cd нами було застосовано ацетатно-амонійну витяжку ґрунту (рН = 4,8). Це зумовлено тим, що відповідне значення рН підтримується в зоні кореневої системи в більшості рослин, тому саме при цьому значенні метали потрапляють у ланцюг живлення. Для визначення потенційно рухомих форм Cd попередньо нами був підготовлений ацетатно-амонійний буфер з рН=4,8, за такою методикою: 1) в мірну колбу місткістю 1 л влили 75 мл водного розчину аміаку (NH<sub>4</sub>OH) і 108 мл оцтової кислоти (CH<sub>3</sub>OH), довели до мітки дистильованою водою; на рН-метрі провели вимірювання рН отриманого буферу; 2) взяли 5 г середньо змішаної проби ґрунту та залили 50 мл відповідного буферу для одержання ацетатно-амонійної буферної витяжки, поставили на добу відстоюватися. Відфільтрували отриману ацетатно-амонійну витяжку ґрунту й на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115-М1 (полум'яний варіант). визначили вміст потенційно рухомих форм Cd. Розрахунок проводили на 1 кг сухої маси ґрунту [326–328].

#### **8.1.2.1 Вміст мікроелементів у валовій формі в кореневонасиченому шарі ґрунтів**

Протягом тривалого часу аналізувалися мікроелементи у восьмидесяти трьох ґрунтових розрізах долинних лісів Краснолеського, Кочерезького і Котовського лісництв Присамарського біосферного, біогеоценологічного міжнародного учбово-наукового центру ім. Олександра Бельгарда в рамках Комплексної експедиції з дослідження лісів степової зони. На підставі аналітичних даних були отримані середньостатистичні показники вмісту нікелю, міді, ванадію, хрому, молібдену, марганцю в основних типах ґрунтів долинних біогеоценозів.

У центральній заплаві (де переважають лугово-лісові ґрунти) накопичення багатьох мікроелементів досягає максимуму, оскільки існує постійний зв'язок з

грунтовими водами, відбувається механічна акумуляція елементів з паводкових вод, наявна щедра рослинність. У заплавах лугово-лісових ґрунтах центральної заплави, в порівнянні із заплавами лісовими ґрунтами прируслов'я, значно накопичуються марганець, хром і нікель.

В межах притеррася, окрім перерахованих вище чинників, має значення також делювіальний процес з терас і вододілів ґрунту і ґрунтових вод, збагачених продуктами вивітрювання, внаслідок чого ґрунти відрізняються підвищеним вмістом мікроелементів. У дерново-борових піщаних ґрунтах арени, що не заливаються навіть у великі паводки, знаходиться мінімальна кількість усіх мікроелементів. Лугово-лісові суглинкові солонцево-солончакові ґрунти центральної заплави характеризуються значним збільшенням вмісту міді [301].

Вміст нікелю в досліджуваних ґрунтах лісових біогеоценозів заливних і аренних міст південного сходу України дещо нижче, ніж у ґрунтах Середньоруської рівнини [305], він варіює в межах 24–34 мг/кг. Середній вміст нікелю в ґрунтоутворюючих породах – 25–30 мг/кг, коефіцієнт варіації складає 21–40%. Найбільш збагачені нікелем глинисті алювіальні відкладення (30 мг/кг), найменш – піщані (20 мг/кг), (таблиця 3.1). Ґрунти наслідують в основному той же вміст нікелю, що і в породі. В порядку убутання кількості нікелю ґрунти долинно-терасового ландшафту в межах Котовського, Кочерезького і Краснолеського лісництв можна розташувати в низхідний ряд: глинисті – суглинкові – супіщані – піщані.

Таблиця 2.1– Середньостатистичні показники кількісного вмісту  
мікроелементів в ґрунтоутворюючих породах

Вміст міді в дерново-борових піщаних ґрунтах складає в середньому 14

Алювіальні відкладення за механічним складом	n	Показники	Вміст мікроелементів ,мг/кг					
			Cr	V	Mn	Ni	Mo	Cu
Глинисті	5	C	86	296	615	30	1,9	12
		V,%	13	31	48	25	21	42
Суглинкові	5	C	80	280	327	27	1,6	4,7
		V,%	39	34	42	21	20	63
Супіщані	24	C	50	162	180	22	1,6	2,7
		V,%	30	27	79	40	27	4,7
Піщані	45	C	30	148	53	20	1,5	1,3
		V,%	25	30	56	23	25	55

мг/кг повітряно-сухого ґрунту, в заплавах лугово-лісних суглинках – 31 мг/кг; суглинкові та супіщані ґрунти виділяються підвищеним вмістом міді в порівнянні із чорноземами звичайними (64–93мг/кг проти 23–31мг/кг відповідно). Збільшений вміст міді в засолених ґрунтах, як відмічає В. А. Ковда, свідчить про те, що мідь приймає участь у процесі галогенезу [329].

В межах окремих типів ґрунтів відмічені значні варіації вмісту купруму. Так, ґрунти лугово-лісові характеризуються коефіцієнтами варіації, рівними 17–32%, що можна пояснити різною мірою зволоження ґрунтів, віднесених до цього типу, і значними коливаннями механічного складу генетичних горизонтів. Коефіцієнт варіації міді в лугово-лісових солонцово-солончакових ґрунтах дорівнює 43%. Підвищена варіація вмісту міді в цих ґрунтах ймовірно пов’язана з різною мірою засолення окремих ґрунтових горизонтів.

Середній вміст ванадію в долинно-терасному ландшафті варіюється відносно широко. Максимальна кількість ванадію властива заплавному лугово-лісовим суглинковим ґрунтам (300мг/кг), коефіцієнт варіації – 55%.

Мінімальний вміст ванадію мають дерново-борові ґрунти (34мг/кг), що залягають на піщаному підґрунті, коефіцієнт варіації – 31%.

Досліджені типи ґрунтоутворюючих порід лісових біогеоценозів істотно відрізняються за вмістом хрому. Так, в глинистих алювіальних відкладеннях його вміст в середньому складає 86 мг/кг, у суглинкових – 80мг/кг, супіщаних – 50мг/кг і піщаних –30мг/кг. Ґрунти, що утворюються на багатих хромом суглинкових породах, містять хрому в 2–3 рази більше, ніж на супіщаних (78–91 мг/кг проти 24–40мг/кг ). Коливання вмісту хрому в межах кожного типу ґрунтів відносно невелике, коефіцієнт варіації – 9–32%.

Що стосується молібдену, то піщані алювіальні відкладення містять його концентрацію 1,5 мг/кг, суглинкові і супіщані – 1,6, глинисті – 1,9 мг/кг сухої породи. Ці величини укладаються в межі середнього вмісту молібдену в ґрунтових горизонтах України [307]. Варіація вмісту молібдену в ґрунтах дослідженого району у піщаних і глинистих ґрунтах складає від 1,9 до 3,6 мг/кг

Отримані експериментальні результати за вмістом марганцю в ґрунтоутворюючих породах лісових біогеоценозів долинно-терасового ландшафту узгоджуються з літературними даними. Найбільшу кількість марганцю містять глинисті ґрунтоутворюючі породи (615 мг/кг), піщані породи є найбіднішими за вмістом марганцю (53 мг/кг). Суглинкові алювіальні відкладення характеризуються вмістом марганцю, рівним 327 мг/кг, а супіщані – 180 мг/кг породи.

Підводячи підсумок дослідженню кореневонасиченого шару ґрунтів лісових біогеоценозів долинно-терасового ландшафту на вміст мікроелементів, необхідно відмітити наступне:

Вміст міді в ґрунтах суглинкових заплавлених лугово-лісових, болотяних лісових (28-31мг/кг), лугово-лісових солонцево-солончакових (93мг/кг) і солончаку лугово-лісовому (64 мг/кг) істотно вище за фоновий вміст міді для усіх ґрунтів, в дерново-борових піщаних (14,0мг/кг) і заплавлених супіщаних (23мг/кг) він близький до середніх даних:

Вміст марганцю відповідає середнім даним в ґрунтах заплавної лугово-лісових суглинкових (850мг/кг), набагато вище вміст марганця в заплавної лугово-болотяних суглинкових ґрунтах (1189мг/кг), ймовірно, за рахунок підвищеного вмісту його в породі та механічної акумуляції з паводкових вод, значно нижче у солончаку лугово-лісовому суглинковому (697мг/кг), заплавної лісових супіщаних (182 мг/кг) і дерново- борових піщаних ґрунтах (102 мг/кг)

За вмістом хрому серед досліджених ґрунтів виділяються ґрунти дерново-борові піщані (24мг/кг) і заплавної-лісові супіщані (40мг/кг), в яких середній вміст хрому в 2–3 рази нижчий, ніж середні показники (70мг/кг) для чорнозему. Ґрунти заплавної-лугово-лісові, солончак лугово-лісовий характеризуються величинами 78–91 мг/кг, близькими до середнього вмісту хрому в чорноземах (90мг/кг).

Вміст ванадію в усіх ґрунтах лісових біогеоценозів, окрім дерново-борових піщаних ґрунтів, вище за середнє значення для чорноземів (100 мг/кг).

Межі варіювання кількості вмісту молібдену в ґрунтах лісових біогеоценозів степової України (1,9–3,6 мг/кг ) в основному вище за фоновий вміст молібдену в ґрунтах (2,0 мг/кг).

Коливання у вмісті мікроелементів в ґрунтах лісових біогеоценозів долинно-терасового ландшафту визначається властивостями породи, характером рослинного покриву і місцерозташуванням лісового біогеоценозу в ландшафті.

Лісові біогеоценози вносять істотні корективи до мікроелементної характеристики ґрунтів степу. Вміст мікроелементів в ґрунтах лісових біогеоценозів долинно-терасного ландшафту залежить більше від механічного складу ґрунтів, ніж від геоморфології і типу біогеоценозу.

По кількісному вмісту в ґрунтах лісових біогеоценозів мікроелементи складають наступний ряд: марганець – хром – нікель – мідь.

Ґрунти лугово-лісові засолені характеризуються підвищеним умістом міді. Отримані кількісні показники мікроелементів в ґрунтах використовувалися нами для розрахунків коефіцієнтів кореляції та рівнянь регресії між вмістом Mn, Cr, Ni, Mo, V, Cu, гумусом та фракції фізичної глини в ґрунтах різнотравно-кострицево-ковилевого степу та соснового бору.

### 8.1.2.2 Результати дослідження гранулометричного складу ґрунтів

В роботі проведено аналіз [320, 330] вмісту фракції фізичної глини в ґрунтах біогеоценозів Присамарського стаціонару в (результати таблиці 2.2).

Вміст фракції фізичної глини в ґрунтах досліджуваних біогеоценозів складає від 5,5 до 60,6 %. В чорноземі звичайному вміст фракції фізичної глини знижується по горизонтам, в поверхневому шарі він складає 60,6 %; в горизонті 40–50 см – 60,1 %; в горизонті 80–90см – 57,1%; в горизонті 140–150 см – 51,1%.

Таблиця 2.2 – Вміст фракції фізичної глини в ґрунтах біогеоценозів  
Присамарського стаціонару

Біогеоценоз	Тип ґрунтів	Глибина відбору проб, см	Вміст,% фракції фізичної глини < 0,01мм
Різотравно-кострицево-ковилевий степ	Чорнозем звичайний	0-10	60,6
		40-50	60,1
		80-90	57,1
		140-150	51,1
Суховатий бір	Дерново - борові ґрунти	1-15	8,4
		50-60	5,5
		125-135	14,0
		210-220	5,6

В дерново-борових ґрунтах вміст фракції фізичної глини варіює в межах від 5,5 до 14,0 %. В поверхневому шарі він дорівнює – 8,4%; і в горизонті 50 – 60см – 5,5%; в горизонті 125–135см – 14,0%; в горизонті 210–220см – 5,6%.

В кореневонасиченому шарі ґрунту (0–50см) середній вміст фракції фізичної глини (частки розміром < 0,01мм) в різотравно-кострицево-ковилевому степу складає 60,35% , а в суховатому бору – 6,95%.

З отриманих результатів видно, що середній вміст фракції фізичної глини в різнотравно-кострицево-ковилевому степу в 8,68 раз більше, ніж в дослідженому суховатому борі.

Інфографіка отриманих результатів вмісту фракції фізичної глини в ґрунтах різнотравно-типчакового-степу представлена на рисунку 2.1

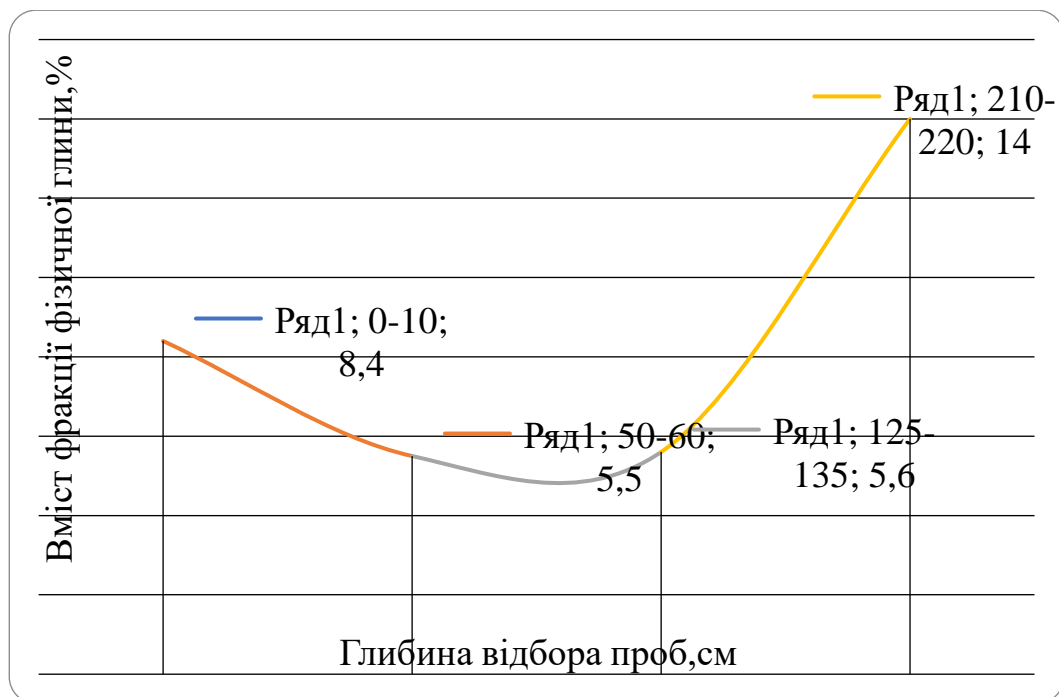


Рисунок 2. 1– Розподіл фракції фізичної глини в чорноземі звичайному за глибиною ґрунтового профілю

З представленого рисунку видно, що зі збільшенням глибини відбору пробних зразків фракції фізичної глини зменшується. Так, шарі ґрунту (0-10) вміст складає 60,6%, а в шарі 140-150 см – 51,1%.

Графічне представлення отриманих результатів вмісту фракції фізичної глини в ґрунтах суховатому борі представлено на рисунку 2.2



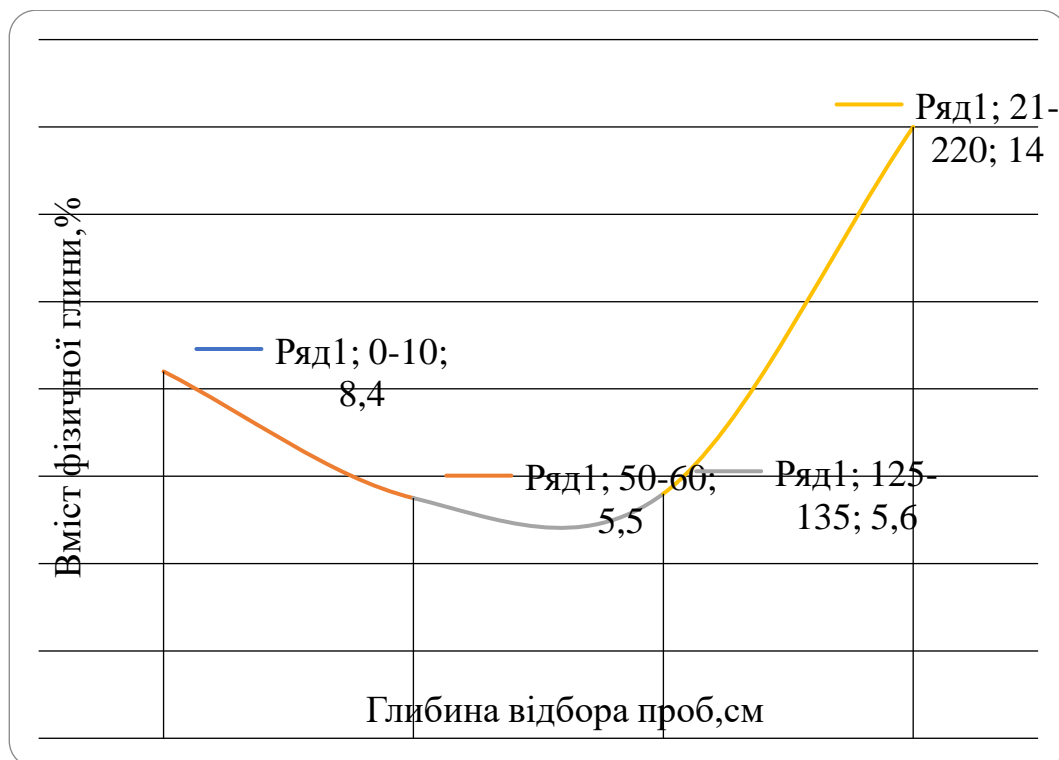


Рисунок 2.2 – Розподіл фракції фізичної глини в суховатому борі за глибиною ґрунтового профілю

З представленого рисунку видно, що зі збільшенням глибини відбору пробних зразків фракції фізичної глини збільшується. Так, шарі ґрунту (0–10) вміст складає 8,4%, а в шарі 210–220 см – 14,0 %.

### 8.1.2.3 Результати визначення гумусу в ґрунтах досліджуваних біогеоценозів

Проаналізовано вміст гумусу в чорноземі звичайному і дерново- борових ґрунтах [304,308], дані наведено в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Вміст гумусу в ґрунтах лісових Присамарського  
стаціонару

Біогеоценоз	Тип ґрунтів	Глибина відбору проб, см	Вміст гумусу, %
Різотравно- кострицево- ковилевий степ	Чорнозем звичайний	0-10	6,1
		40-50	4,6
		80-90	3,6
		140-150	2,2
Суховатий бір	Дерново- борові ґрунти	1-15	2,7
		50-60	0,7
		125-135	0,5
		210-220	0,2

В ґрунтах досліджених біогеоценозів вміст гумусу варіює від 0,2 до 6,1 %, причому в різотравно-кострицево-ковилевому степу – від 2,2 до 6,1%, суховатому борі – від 0,2 до 2,7%. В чорноземі звичайному вміст гумусу складає – 4,6-6,1%, а в дерново-борових ґрунтах – 0,2-2,7%.

В кореневонасиченому шарі ґрунту (0–50см) середній вміст гумусу різотравно-кострицево-ковилевого степу складає 5,35%, а в ґрунтах суховатого бору 1,6%.

З отриманих результатів видно, що середній вміст гумусу в шарі ґрунту (0–50см) різотравно-кострицев-ковилевого степу в 1,2 раза більше ніж у суховатому борі.

Отримані результати вмісту гумусу в ґрунті різотравно-кострицево-ковилевого степу представлено на рисунку 2.3

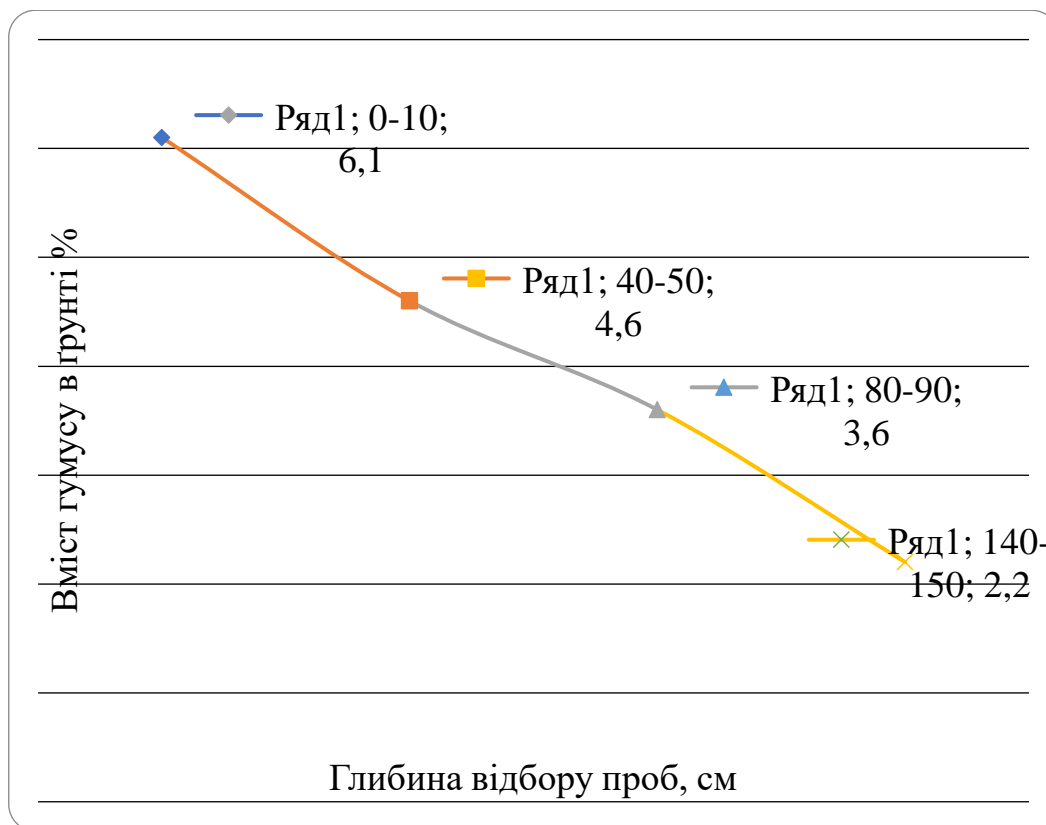


Рисунок 2.3 – Розподіл гумусу чорноземі звичайному за глибиною ґрунтового профілю

З представленого рисунку видно, що зі збільшенням глибини відбору пробних зразків ґрунту вміст гумусу зменшується. Так, шарі ґрунту (0–10) вміст складає 6,1%, а в шарі 140–150 см – 2,2%.

Отримані результати вмісту гумусу в ґрунті суховатого бору представлено на рисунку 2.4

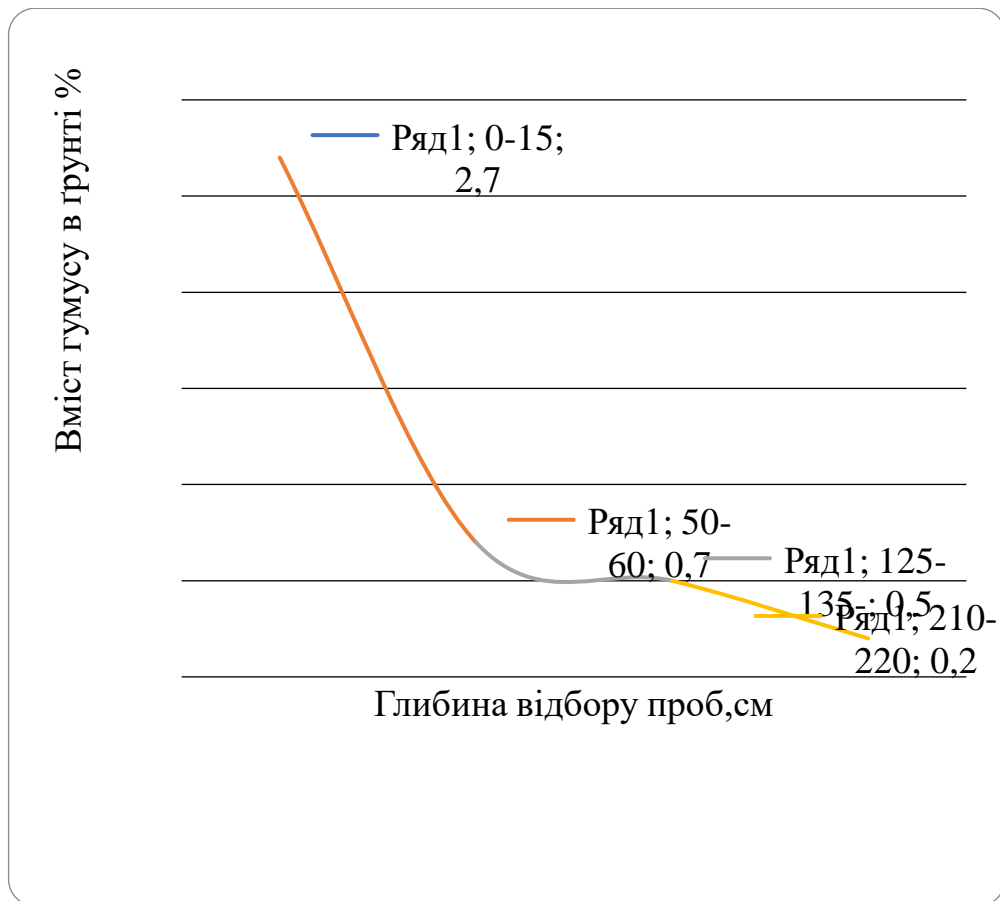


Рисунок 2.4 – Розподіл вмісту гумусу в сухуватому борі за глибиною ґрунтового профілю

З представленого рисунку видно, що зі збільшенням глибини відбору пробних зразків ґрунту вміст гумусу зменшується. Так, уміст гумусу в шарі ґрунту (1–15см) складає 2,7%, а в шарі (210–220см) – 0,2%. В роботі було досліджено вміст мікроелементів в ґрунтах біогеоценозів Присамарського стаціонара (табл. 2.4)

Таблиця 2.4 – Вміст мікроелементів в ґрунтах біогеоценозів Присамарського  
стаціонару

Біогеоценоз	Тип ґрунту	Глибина відбору проб, см	Вміст мікроелементів в мг/кг					
			Mn	Cr	Ni	Mo	V	Cu
Різотравно-кострицево-ковилевий степ	Чернозем звичайний	0-10	491	140	36	1,6	50	8,8
		40-50	506	139	38	1,5	37	7,8
		80-90	321	156	34	1,6	32	6,1
		140-150	388	102	27	1,7	31	4,6
Суховатий бір	Дерново-борові ґрунти	1-15	234	22	21	0,8	11	1,2
		50-60	35	18	23	0,8	0,9	1,5
		125-135	71	25	27	0,8	4,5	0,6
		210-220	27	19	26	0,9	1,0	1,6

В ґрунтах досліджених біогеоценозів кількість марганцю варіює в межах від 27 до 506 мг/кг, вміст хрому – від 18 до 156 мг/кг, нікелю – від 21 до 38 мг/кг, вміст молібдену – від 0,8 до 17 мг/ кг, ванадія – від 1 до 50 мг/кг, міді – від 0,6 до 8,8 мг/ кг.

Причому в чорноземі звичайному різотравно-кострицево-ковилевому степу вміст усіх мікроелементів більше, ніж в дерново-борових (суховатий бір), а саме в кореневонасиченому шарі ґрунту (0-50см) середній вміст марганцю різотравно-ковилевого степу складає 498,5мг/кг; хрому – 139,5 мг/кг; нікелю – 37мг/кг; молібдену – 1,55 мг/кг; ванадію – 43,5мг/кг; міді – 8,3мг/кг.

У кореневонасиченому шарі ґрунту суховатого бору середній вміст марганця складає 134,5 мг/кг; хрому – 20 мг/кг; нікелю – 22 мг/кг; молібдену – 0,8 мг/кг; ванадію – 5,95 мг/кг; міді – 1,35 мг/кг.

З отриманих результатів видно, що середній вміст марганця в різнотравно-кострицево-ковилевому степу в 3,7 раз більше, ніж у суховатому борі; хрому в 6,9 раз; нікелю в 1,7 раз; міді в 6,1 раз.

Отримані результати вмісту мікроелементів в ґрунтах різнотравно-кострицево-ковилевого степу представлено на рисунку 2.5

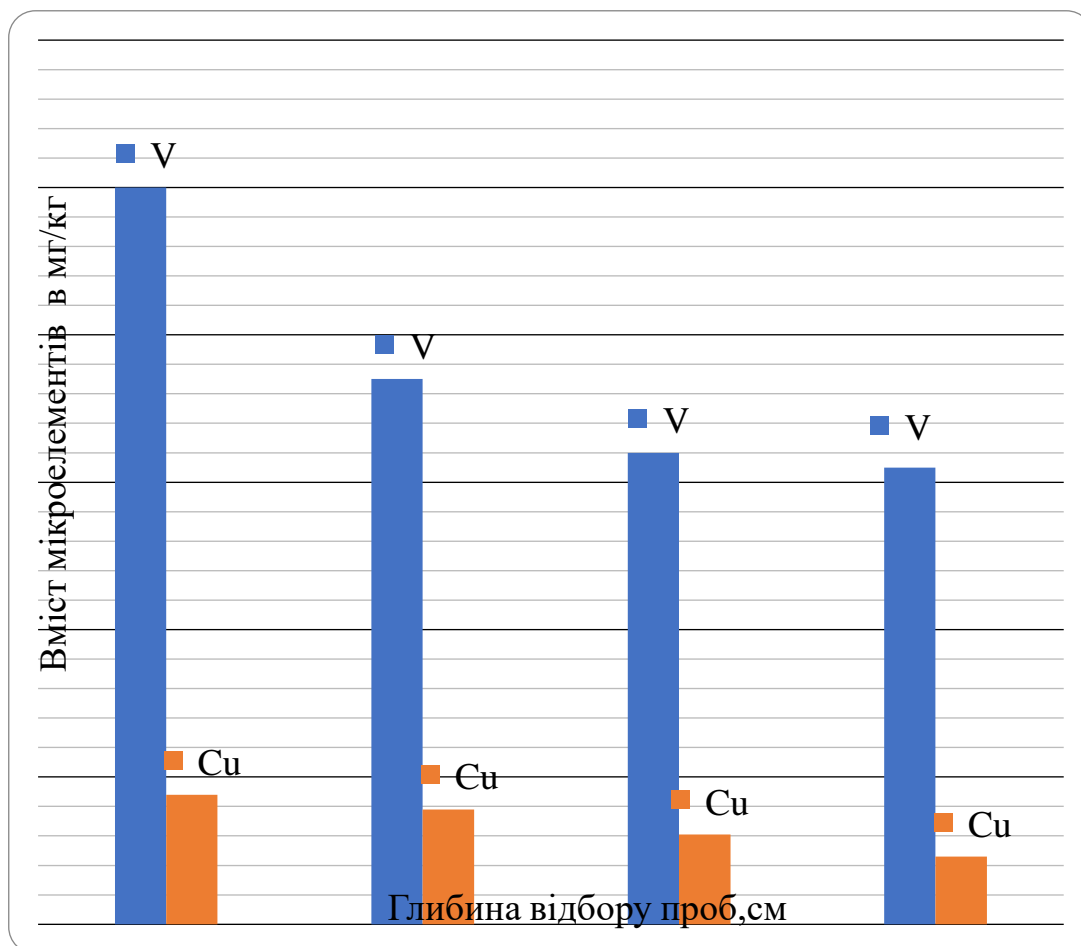


Рисунок 2.5 – Розподіл мікроелементів в чорноземі звичайному за глибиною ґрунтового профілю

З представленого рисунку видно, що зі збільшенням глибини відбору пробних зразків ґрунту, вміст мікроелементів зменшується. Так, в шарі ґрунту (0–10см), вміст ванадія складає 50мг/кг, а міді – 8,8мг/кг, а в шарі (140–150см) ванадій – 31мг/кг, а міді – 4,6 мг/кг.

Отримані результати вмісту мікроелементів в ґрунтах суховатого бору представлено на рисунку 2.6.

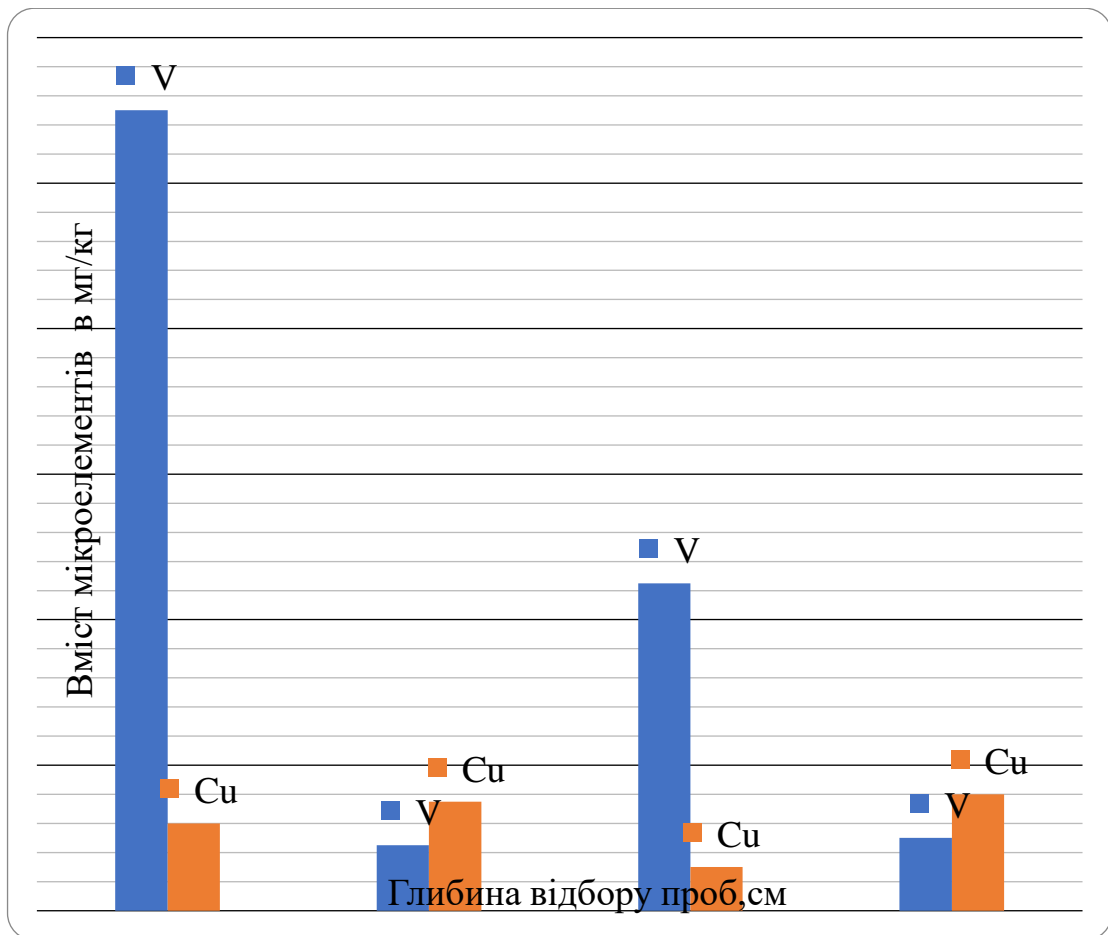


Рисунок 2.6 – Розподіл мікроелементів в дерново-борових, за глибиною ґрунтового профілю

З рисунку видно, що зі збільшенням глибини відбору пробних зразків ґрунту, вміст мікроелементів. Так, в шарі ґрунту (1–15см) вміст ванадію складає 11 мг/кг, а міді – 1,2мг/кг, а в шарі (210–220см) ванадія – 1,0мг/кг, а у міді – 1,6мг/кг збільшується.

### Оцінка ступеня нагромадження важких металів в ґрунтах.

Коефіцієнт співвідношення ґрунт-ґрунтова порода:

$$K_{сгг} = \frac{C_g}{C_{гп}} \quad (2.1)$$

де  $C_g$  – концентрація забруднюючої речовини в шарі ґрунту(0–10см);

$C_{гп}$  – концентрація забруднюючої речовини у ґрунтоутворюючій породі.

Розрахуємо коефіцієнт співвідношення ґрунт – ґрунтова порода для досліджуваних мікроелементів за даними таблиці 2.4. Отримані результати розрахунків зведемо до таблиці 2.5

Таблиця 2.5 – Ступень акумуляції мікроелементів у ґрунтовому профілю ( $K_{сгг}$ )

Біогеоценоз	Тип ґрунту	$K_{сгг}$ мікроелементів					
		Mn	Cr	Ni	Mo	V	Cu
Різнотравно-кострицево-ковилевий степ	Чорнозем звичайний	1,3	1,4	1,3	0,9	1,6	1,9
Суховатий бір	Дерново-борові ґрунти	8,7	1,2	0,8	0,9	11	0,8

З отриманих результатів видно, що у чорноземі звичайному коефіцієнт співвідношення марганцю, хрому, нікелю, ванадію та міді  $K_{сгг} > 1$ , тобто зазначені мікроелементи накопичуються у верхньому гумусному горизонті, а молибден  $K_{сгг} < 1$  – вилуговується (вимивається).

Проте, у дерново-борових ґрунтах коефіцієнт співвідношення вмісту марганцю, хрому та ванадію  $K_{сгг} > 1$ , тобто робимо висновок про накопичення цих мікроелементів у верхньому гумусному горизонті; нікель, молибден та мідь  $K_{сгг} < 1$ , навпаки вилужуються.

#### 8.1.2.4 Кореляційний зв'язок важких металів з механічним складом і органічною речовиною ґрунту

При проведенні кореляційного аналізу досліджено взаємозв'язок мікроелементів (важких металів) з фракцією фізичної глини і кількістю гумусу в ґрунтах лісових біогеоценозів Присамар'я на Дніпропетровщині.



Ґрунт, як структурний компонент біогеоценозу, є складною гетерогенною системою, де вміст мікроелементів взаємнообумовлений рядом чинників. Відомо, що такими чинниками є: ґрунтоутворююча порода, вміст органічної речовини в ґрунті, кислотність ґрунтового розчину, ґрунтово-поглинаючий комплекс, а також антропогенні і природні процеси (біогенна міграція мікроелементів за ґрунтовим профілем, механічна денудація, ліссиваж та ін.). У зв'язку з цим взаємозалежність важких металів і окремих показників ґрунтів може бути виражена кореляційно [309].

В роботі експериментально отримані результати статистично оброблені, розраховані коефіцієнти кореляції мікроелементів (важких металів) із вмістом гумусу та гранулометричним складом ґрунтів.

Результати статистичної обробки експериментального матеріалу приведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Показники коефіцієнтів кореляції (механічний склад – гумус – мікроелементи) і рівняння регресії

Корелюючі величини	Показники кореляції	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Cu
Мікроелементи і гумус	r	0,75	0,40	0,11	0,47	0,37	0,13
	рівняння регресії	$y=78x+70$			$y=0,03x+1,2$		
Мікроелементи і фізична глина	r	0,34	0,02	0,6	0,2	0,5	0,35
	рівняння регресії			$y=25+0,2x$		$y=8+0,5x$	

У таблиці наведена визначена кількісна кореляційна залежність відбита рівняннями регресії. За незалежну змінну  $x$  прийнятий вміст загального гумусу і фізичної глини у відсотках, а за  $y$  – вміст мікроелементів (мг/кг абсолютно сухого ґрунту).

Встановлені величини коефіцієнтів кореляції показали наявність математично доведеного зв'язку вмісту марганцю, молібдену з гумусом ґрунту, а також вміст нікелю і ванадію з вмістом фізичної глини. З чого видно, що одним з чинників, що визначає знаходження нікелю і ванадію в ґрунтах являється механічний склад. Вміст нікелю та ванадію не корелює з гумусом, відповідні « $r$ » низькі. Не відмічена істотна кореляція хрому, міді, молібдену і марганцю з механічним складом. Відсутність кореляції молібдену і марганцю з фракцією фізичної глини і наявність тісного достовірного зв'язку з гумусом дають можливість зв'язати їх знаходження в ґрунтах з біогенною акумуляцією.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи були проведені дослідження та отриманні результати, стосовно яких можна зробити наступні висновки:

Проаналізовано відомості про вміст важких металів у ґрунтах, біологічну роль мікроелементів, фізико-хімічні властивості ґрунтів. Статистичні методи отриманих результатів детально описані, представлена характеристика кореляційного та регресійного аналізів, що безпосередньо використовувались в даній роботі.

Об'єктом дослідження вситупили ґрунти степового біогеоценозу різнотравно-кострицево-ковилевого степу та ґрунти суховатого бору. Основними методами дослідження в роботі були: біогеоценетичний метод, атомно- абсорбційний метод вивчання вмісту мікроелементів в ґрунті. Гумус вивчався за методом І.В. Тюріна, гранулометричний складу за методом Н.А.Качинського.

Наведено дані вмісту мікроелементів у валовій формі в кореневонасиченому шару ґрунту (0–50см), проаналізовано гранулометричний

склад ґрунтів різнотравно-кострицево-ковилевого степу та суховатого бору, визначено вміст гумусу в ґрунтах досліджуваних біогеоценозів.

Вміст фракції фізичної глини в ґрунтах досліджуваних біогеоценозах склав від 5,5 до 60,6 %. В чорноземі звичайному вміст фракції фізичної глини знижується по горизонтам, в поверхневому шарі він складає 60,6 %; в горизонті 0–50 см – 60,1 %; в горизонті 80–90см – 57,1%; в горизонті 140 – 150 см - 51,1%.

В дерново-борових ґрунтах вміст фракції фізичної глини варіює в межах від 5,5 до 14,0 %. В поверхневому шарі він дорівнює – 8,4%; і в горизонті 50 – 60см – 5,5%; в горизонті 125–135см – 14,0% ; в горизонті 210– 20см – 5,6%.

В кореневонасиченому шарі ґрунту (0–50см) середній вміст фракції фізичної глини (частки розміром <0,01мм) в різнотравно-кострицево-ковилевому степу складає 60,35% , а в суховатому борі 6,95%.

З отриманих результатів видно, що середній вміст фракції фізичної глини в різнотравно-типчаково-ковилевому степу в 8,68 раз більше, ніж в дослідженому біогеоценозі суховатому борі.

В ґрунтах досліджених біогеоценозів вміст гумусу варіює від 0,2 до 6,1 %, причому в різнотравно-кострицево-ковилевому степу – від 2,2 до 6,1%, суховатому борі – від 0,2 до 2,7%. В чорноземі звичайному вміст гумусу складає – 4,6–6,1%, а в дерново-борових ґрунтах – 0,5-2,7%.

В кореневонасиченому шарі ґрунту (0–50см) середній вміст гумусу різнотравно-кострицево-ковилевого степу складає 5,35%, а в ґрунтах суховатого бору 1,6%.

З отриманих результатів видно, що середній вміст гумусу в шарі ґрунту (0–50см) різнотравно-кострицево-ковилевого степу в 1,2 раза більше, ніж у суховатому борі.

В ґрунтах досліджених біогеоценозів кількість марганцю варіює в межах від 27 до 506 мг/кг, вміст хрому – від 18 до 156 мг/кг, нікелю – від 21 до 38 мг/кг, молібдену – від 0,8 до 17 мг/ кг, ванадію – від 1 до 50 мг/кг, міді – від 0,6 до 8,8 мг/ кг.

Причому в чорнозему звичайному різнотравно-кострицево-ковилевому степу кількість усіх мікроелементів більше, ніж в дерново-борових ґрунтах (суховатий бор), а саме в кореневонасиченому шарі ґрунту (0–50см) середній вміст марганцю різнотравно-ковилевого степу складає 498,5мг/кг; хрому – 139,5 мг/кг; нікелю – 37мг/кг; молібдена – 1,55 мг/кг; ванадію – 43,5мг/кг; міді – 8,3мг/кг.

А в кореневонасиченому шарі ґрунту суховатого бору середній вміст марганцю складає 134,5 мг/кг; хрому – 20 мг/кг; нікелю – 22 мг/кг; молібдена – 0,8 мг/кг; ванадію – 5,95 мг/кг; міді – 1,35 мг/кг.

З отриманих результатів видно, що середній вміст марганцю в різнотравно-кострицево-ковилевому степу в 3,7 раз більше, ніж у суховатому борі; хрому в 6,9 раз; нікелю в 1,7 раз; міді в 6,1 раз.

Встановлені величини коефіцієнтів кореляції показали наявність математично доведеного зв'язку вмісту марганцю, молібдену з гумусом ґрунту, а також вмісту нікелю та ванадію зі вмістом фізичної глини. Одним з чинників, що визначає знаходження нікелю і ванадію в ґрунтах являється механічний склад. Вміст нікелю, ванадію не корелює з гумусом, відповідні "r" низькі. Не відмічена істотна кореляція хрому, міді молібдену і марганцю з механічним складом. Відсутність кореляції молібдену і марганцю з фракцією фізичної глини і наявність тісного достовірного зв'язку з гумусом дають можливість зв'язати їх знаходження в ґрунтах з біогенною акумуляцією.

## SECTION 9. INFORMATICS AND CYBERNETICS

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.9.1

### 9.1 Aspects of blockchain technology as a component of information security

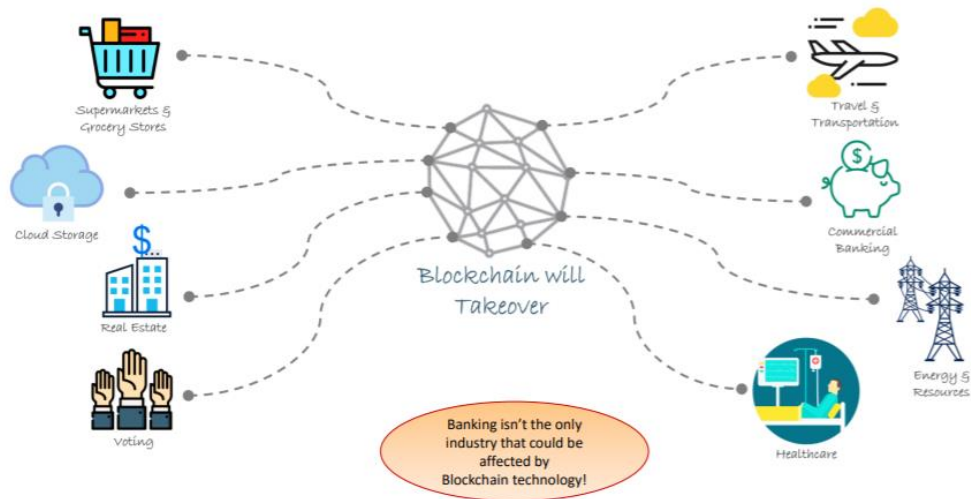
With the development of means of information communications and the possibility of harming the information that is stored and transmitted with their help, information security arose. Ensuring information security helps to protect information and information infrastructure from negative influences. Such influences may be accidental or intentional, internal or external, and the result of their interventions may be the loss of important information, its unauthorized change or use by third parties. It is possible to ensure complete and reliable information security only if a comprehensive and systematic approach is used. The information security system must be built taking into account all current threats and vulnerabilities, as well as taking into account those threats that may arise in the future, so it is important to ensure the support of continuous and reliable control.

Blockchain technology began its development as the basis of the Bitcoin cryptocurrency, but later became a promising technology for information security. Blockchain offers ample opportunities to maintain a high level of data security through robust encryption mechanisms, data integrity, network resilience, and scalability. As a result, the transition from a traditional information security system to a blockchain-based system can be beneficial for organizations in almost any industry [331].

Taking into account all the advantages of Blockchain technology and the existing threats of modern information systems, the development of new methods of ensuring information security based on Blockchain is an urgent and important task, both from a scientific and a practical point of view.

Today, there is a rapid development of information and telecommunication systems and technologies and, as a result, their wide application in various spheres of society. A significant number of modern public and private institutions use information and telecommunication systems to manage production processes, support decision-making, save and process information, search for necessary data, etc. Almost all of

these systems work on the principle that process management is centralized and full control over the system can be gained by gaining access to the main central server. As a result, the risk of compromising the entire system, the number of ITS vulnerabilities and threats increases (Pic. 1).



Pic. 1 – Fundamentals of Blockchain Technology

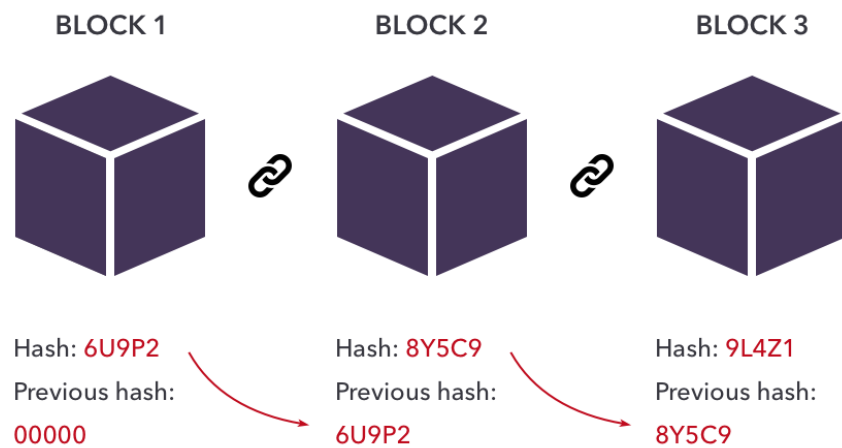
In connection with the public interest in blockchain technology and its active application in various fields, such as finance or accounting, it is appropriate to conduct an analysis of the effectiveness of blockchain application in the field of information security. The first work on a block chain protected by cryptographic functions was described in 1991 by Stuart Haber and W. Scott Stornetta. They wanted to implement a system where the timestamps of documents could not be tampered with or damaged. In 1992, Bayer, Haber, and Stornetta used a Merkle tree in the project, which improved efficiency by allowing multiple documents to be included in one block.

The first version of the blockchain was developed by a person (or group of people) known as Satoshi Nakamoto in 2008. This approach to organizing the work of the distributed ledger was embodied by Nakamoto in 2009, when he developed the main component of the Bitcoin cryptocurrency, where it acts as an open ledger for all network transactions [332].

The term Blockchain, with its name, partly characterizes the principle of operation of the technology itself. "Block" is a block, "chain" is a chain. From which it follows

that Blockchain is a chain of blocks. But not just a chain. It maintains a strict sequence determined by complex cryptographic functions. Blocks are data about transactions, agreements and contracts within the system presented in cryptographic form. All blocks are built in a chain, that is, they are connected in series. To add (write) a new block, you need to check the sequence of previous blocks. Let's consider the work of Blockchain in more detail. Each block or entry in the Blockchain registry contains basic information, its own calculated hash, and the hash of the previous block. The set of data stored inside the block depends on the intended purpose of Blockchain. For example, the Bitcoin Blockchain contains information about the sender, the recipient and the number of coins transferred. Each block's hash will be unique, as will the data stored within the block. Its uniqueness can be compared to a human fingerprint. Making any changes to a block will immediately cause the block hash to change. The third element of the block is the hash of the previous block. In this way, a sequence of blocks is formed. This model makes Blockchain secure. Let's consider an example. Figure 1 shows a sequence of three blocks [333].

Each block has its own hash and the hash of the previous block. Block 3 points to block 2, block 2 to block 1. The first block is special, it cannot point to the previous block because it does not exist, this block is called the genesis block. Let's try to break the integrity and make unauthorized changes to block 2. Changing even one character in block 2's data will change its hash, which will automatically change all subsequent blocks and render them invalid. But using hashing alone is not enough to prevent the creation of fake blocks. Today's computers are very powerful and can calculate thousands of hashes per second (Pic. 2).



Pic. 2 – Sequence of blocks

Therefore, there is a high probability of forging a block and recalculating all subsequent blocks to make the blockchain valid again. To prevent such cases, the blockchain has a Proof of Work algorithm. Its essence is to find a hash function, the result of which starts with a certain number of zeros. This mechanism slows down the creation of new blocks and protects against DDoS attacks. In the case of Bitcoin, it takes about 10 minutes to calculate a new block and add it to the network's overall block sequence. Proof of Work makes it much more difficult to forge blocks, because after forging one block, all subsequent blocks must also be listed through Proof of Work. The sharing of this mechanism along with block hashes forms the basis of Blockchain security. There is another way Blockchain protects itself and that is decentralization. Instead of using a centralized entity to manage the entire sequence, each node has its own copy of the registry and uses a peer-to-peer network to communicate with other nodes. Anyone can join the network, obtain a full copy of the registry, and participate in the validation of the block sequence. After creating a new block, it is sent to all nodes connected to the network to verify the hash (authenticity of the block). If the verification is passed, each node adds a new block to its copy of the Blockchain. All nodes reach a consensus, agreeing on which blocks are valid and which are not. Forged blocks will be rejected by other nodes in the network. Therefore, in order to successfully falsify a block in the blockchain, it is necessary to calculate its hash and the hash of all subsequent blocks through the Proof of Work algorithm, as



well as have access to more than 50% of the network nodes, which is practically impossible [334].

According to the principle of its work, Blockchain has such advantages as:

- decentralization (the main data storage server is missing. All records are stored by each network participant);
- transparency of work (any of the participants can check all transactions taking place in the system);
- security (all operations are reliably protected by cryptographic functions);
- reliability (any attempt to make unauthorized changes will be rejected by other members of the network).

The blockchain network does a good job of maintaining data integrity. Due to the existence of many copies of the database and making changes to it only after confirming the correctness of the information by other network participants, the information remains protected from intentional, unauthorized or accidental changes, as well as any changes in the process of storage, processing or transmission. Information becomes impossible to change due to technical failures in the operation of the network node or due to the human factor, because operations are confirmed thanks to complex mathematical functions. As a result, the information remains unchanged and correct. Ensuring this category of information security enables stable operations, making the right decisions and the ability to save data in the form in which it was created. According to the principle of availability, information should be available to authorized persons at the right time. In the blockchain network, each participant is considered authorized and at any time can read or write data and participate in the verification of data added by other participants. Confidentiality of information is achieved by providing access to it with the least privileges, that is, an authorized person should have access only to those data that are defined for her by access rights. Each member of the network can get a full copy of the database on his device and read all the data in it, which fundamentally contradicts the principle of data privacy. Storing data in the blockchain in an encrypted form will not fundamentally solve the problem of privacy, because in most cases, confidential data does not lose its relevance over time, like, for

example, personal data. And decoding the received data becomes a matter of time and depends on the computing power of the attacker who is trying to access the information.

Blockchain technology has a number of advantages, in particular, it is possible to single out several key characteristics that influenced its development [335].

*Decentralization.* If we consider conventional centralized systems (governing bodies), then each transaction must be confirmed by a central trusted link, for example, how such a link can act as a central bank. In turn, this leads to unavoidable costs for IS provision. In other words, a transaction in the blockchain network can be conducted between any two equal users without authentication by a central server. Thus, the application of blockchain technology can significantly reduce the costs of maintaining the functioning of servers (including development costs and operational costs) and solve certain tasks of security and ensuring the necessary performance.

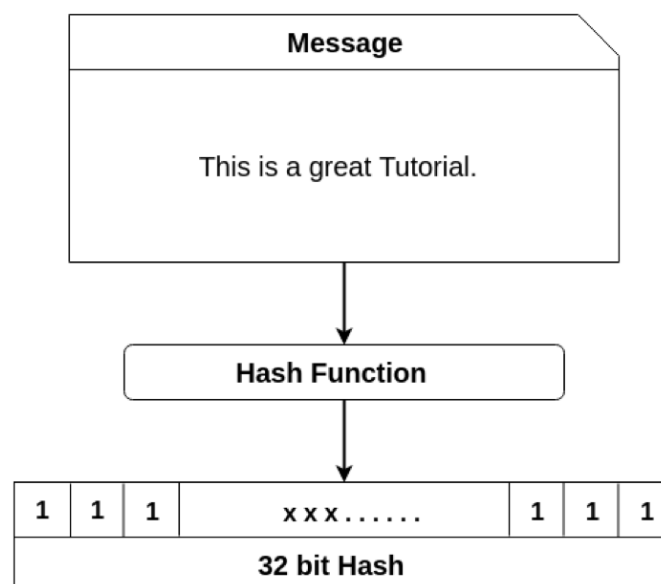
*Immutability.* Any transaction in the blockchain network is confirmed by other participants of this network and recorded in the corresponding block. Each network node has at its disposal the data of all transactions that have taken place in the network. It is impossible to make changes to transactions because blocks and transactions are verified by other nodes. If the majority of nodes (users) believe that the transaction is valid, it is recorded in the registry. This helps ensure transparency and integrity of information. Thus, without the agreement of the majority of nodes, no one will be able to add transaction blocks to the distributed ledger.

*Anonymity.* Each user can interact with the blockchain network using generated addresses. In addition, the user can generate multiple addresses to avoid unique identification. There is no central server that stores user identification data. This fact ensures a certain degree of privacy regarding the transactions included in the blockchain. Anonymity is achieved only in public blockchain networks, described in more detail in the next section.

*Transparency.* Since each transaction on the network is verified and recorded with a time stamp, users can easily verify and track past records. For example, in the cryptocurrency Bitcoin, each transaction can be iteratively traced back to previous transactions. This improves the traceability and transparency of data stored in the

blockchain. Hash functions are one of the most widely used cryptographic algorithms in blockchain technology. These are cryptographic (but not encryption) algorithms designed to protect data integrity. Any piece of data can be hashed, regardless of its size or type. In traditional hashing, regardless of the size, type, or length of the data, the hash generated by any data is always the same length. A hash is intended to be used as a one-way function [336].

A hash function takes an input string (numbers, alphabets, media files) of any length and converts it into a new string of fixed length. The fixed bit length can vary (eg 32-bit, 64-bit, 128-bit, or 256-bit) depending on the hash function used. A string of fixed length is called a hash. This hash is the result of the hash algorithm (Pic. 3).



Picture 3 – Sequence of blocks

Hash functions arose out of the need to make content uniform and to use unique identifiers. The hash function provides cryptocurrency with a high level of security, and although theoretically nothing is completely secure from hacking, this approach provides the highest level of complexity available today. When using the hash function, you can achieve a high level of system security. Including, with its help, it is possible to hash passwords and encrypt other data. To be secure and usable for cryptocurrencies, a hash function must be collision-resistant, which means that it is impossible to find two input strings that will give the same result [337].

For an ideal hash function, the following conditions are fulfilled [338]:

- the hash function is deterministic, that is, the same message leads to the same hash value;
- the value of the hash function is quickly calculated for any message;
- it is impossible to find a message that gives the specified hash value;
- it is impossible to find two different messages with the same hash meaning;
- a small change in the message changes the hash so much that the new and old values seem uncorrelated [339].

Hash functions in the blockchain guarantee the "irreversibility" of the entire chain of transactions. Each new block of transactions references the hash of the previous block in the ledger. The hash of the block itself depends on all the transactions in the block, but instead of passing the transactions sequentially to the hash function, they are compiled into a single hash value using a binary hash tree (Merkle tree). Thus, hashes are used as a replacement for pointers in conventional data structures: linked lists and binary trees. The slightest change in any part of the input results in a huge change in the output; this is the undeniable security of blockchain technology. Changing any record that has previously occurred in the blockchain will change all hashes, making them false and out of date. This becomes impossible given the decentralized structure of the blockchain. The first block of the blockchain, known as the genesis block, contains transactions that, when combined and verified, produce a unique hash. This hash and any new transactions that are processed are then used as input to create a brand new hash that is used in the next chain block. This means that each block references its previous block through its hash, forming a chain back to the genesis block. Thus, transactions can be safely added. A hashing algorithm is considered secure until it finds a collision. Once this happens, the algorithm is considered officially invalid, as happened with MD5 and SHA-1. The SHA-256 (Secure Hashing Algorithm) hashing algorithm is used to convert an array of information into a hash in cryptocurrencies (Pic. 4).

Input	Output
Hello	185F8DB32271FE25F561A6FC938B2E264306EC304EDA518007D1764 826381969
hello	2CF24DBA5FB0A30E26E83B2AC5B9E29E1B161E5C1FA7425E730433 62938B9824
BANKEX Proof-of-Asset protocol	6C3C86FD24B044BC19FD1764EEB5D04E7EC8833199A62C85150B92 B39D2C8CF5

Picture 4 – Example of SHA-256 hashing

SHA-256 is a one-way function for generating fixed-length (256-bit, 32-byte) digital strings from input data up to 2.31 exabytes (264 bits) in size, and is a special case of the SHA-2 (Secure Hash 2) family of cryptographic algorithms published by US NSA in 2002. Hash functions of the SHA-2 family are built on the basis of the Merkle-Damgard structure [340].

The main characteristics of the algorithm:

- block size indicator: 64 bytes;
- the maximum permissible message length: 33 bytes;
- characteristics of message digest size: 32 bytes;
- internal position length parameter: 32 bytes;
- number of iterations in one cycle: 64;
- the speed achieved by the protocol: approximately 140 Mb/s.

As a result of the analysis, it can be concluded that, according to the principle of its operation, the blockchain can be used with high reliability to build information and telecommunication systems that are designed to process and save open data in order to ensure their integrity and availability. It is not advisable to use blockchain in general for storing and processing confidential data, since anyone can access confidential data stored in an open blockchain database.

## SECTION 10. INFORMATICS, COMPUTING AND AUTOMATION

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.10.1

### **10.1 Neural network-based control of magnetic resonance processes for improved outcomes in intelligent material fabrication**

#### Abstract

The field of smart materials manufacturing is developing rapidly, and the magnetic resonance process is critical to the description of the quality and intrinsic properties of engineered materials. This study aims to extend the enhancement of these processes by using the strategic integration of neural network-based control systems. Using artificial intelligence technologies such as neural networks, the research focuses on improving the accuracy, efficiency and overall effect of material manufacturing. Neural networks, known for their ability to learn and adapt to complex patterns, have been applied in dynamic, complex magnetic resonance processes, providing a new way to overcome the limitations of traditional control methods. Integrating these intelligent systems into materials manufacturing not only improves process control, but also dramatically increases the efficiency and quality of manufacturing results. Through rigorous experimentation and analysis, this study provides compelling evidence of substantial improvements in process control and material quality achieved through the adoption of neural network-based strategies. This advance marks a new era in smart manufacturing, where AI-driven solutions have broken through traditional limitations, creating the conditions for major breakthroughs in materials science and engineering physics.

*Key words: Intelligent Material Fabrication, Magnetic Resonance Processes, Neural Networks, Artificial Intelligence, Manufacturing Efficiency*

#### 1.Introduction

Driven by engineering physics and intelligent manufacturing, the field of materials manufacturing is facing major changes. At the heart of this change is the role of magnetic resonance processes, which play an important role in defining the

structural and functional properties of materials. These processes, with their ability to manipulate atomic and molecular interactions, are integral to achieving the desired material properties in an accurate and controlled manner[341].

However, the complexity of maintaining consistency and optimal control of magnetic resonance phenomena in the manufacturing process presents significant challenges. Traditional control mechanisms are unable to accommodate the dynamics and small differences of these processes, resulting in inefficient and low-quality materials. Therefore, the control system needs to be transformed to be more complex and intelligent to accommodate the complexity of magnetic resonance variables.

Artificial intelligence (AI), especially in the form of neural networks, is a breakthrough solution that can address these challenges. Neural networks, with their superior ability to process and learn complex data, provide dynamic and flexible methods for controlling magnetic resonance processes. The purpose of this study is to explore the integration of neural network-based control systems in material manufacturing to significantly improve process accuracy, efficiency and results.

The application of artificial intelligence in magnetic resonance process control not only solves the limitations of traditional methods, but also lays the foundation for a new era of material manufacturing. The combination of artificial intelligence and engineering physics is expected to revolutionize the field and achieve intelligent, efficient and high-quality manufacturing processes. Through the in-depth study of this fusion, this research aims to reveal the synergistic potential between neural networks and magnetic resonance, laying the foundation for the innovative progress of intelligent manufacturing.

## 2.Literature Review

Magnetic resonance technology has always been a key research direction in the field of material manufacturing, and has experienced different stages of technological progress. Historically, magnetic resonance technology has made important breakthroughs in understanding and controlling the properties of materials. Earlier research focused on the fundamental principles of magnetic resonance, laying the foundation for more complex applications in materials science and engineering[342].

With the development of related fields, the research focus has gradually shifted to the improvement of magnetic resonance processes in industrial applications, with a particular focus on improving the accuracy and control of material manufacturing. There have been studies that have delved into the complex interrelationships between magnetic fields and material properties and highlighted the potential for optimizing manufacturing processes. However, traditional control mechanisms are often unable to cope effectively with the dynamic nature of these interactions, so there is increasing interest in adaptive and intelligent systems.

The emergence of artificial intelligence (AI) provides a new perspective for controlling the NMR process. Research is beginning to explore AI techniques, especially integrated neural networks, to improve control accuracy and process efficiency. This study shows that neural networks with learning and pattern recognition capabilities can significantly improve the management of magnetic resonance in materials manufacturing.

Despite the progress, the application of neural networks in magnetic resonance control is still limited. The literature shows that studies are usually limited to specific materials or magnetic resonance techniques, so understanding is patchy. This review aims to fill in these gaps with a comprehensive analysis of how neural networks are revolutionizing the magnetic resonance process in all aspects of material manufacturing.

In summary, the process from researching basic magnetic resonance to developing an AI-integrated control system represents an important advance in the field of materials manufacturing. Neural networks have great potential to improve the accuracy and efficiency of these processes, heralding a promising new direction for research and industrial applications..

### 3. Neural Network Fundamentals

Neural networks are the cornerstone of artificial intelligence, mimicking the neural structure of the human brain to process information and solve complex problems. These networks are made up of interconnected nodes, or "neurons," that adjust the strength of the connections based on inputs, learning tasks together. The core



mechanism of neural networks is that they achieve high efficiency in pattern recognition and predictive modeling through the iterative learning ability of data[343].

The core of neural network is neuron layer, including input layer, hidden layer and output layer[344]. The input layer receives the raw data, while the hidden layer processes the information through weighted connections and activation functions to generate the final result at the output layer. Each neuron is connected in one layer to several neurons in the next, forming a tight network capable of capturing complex relationships in the data.

The neural network is trained to reduce the difference between the predicted output and the actual target value by adjusting the connection weights, a process called backpropagation. Algorithms such as gradient descent are used to iteratively reduce the network prediction error. The diversity of neural networks is reflected in their different types, each adapted to a specific task. For example, convolutional neural networks (CNNs) specialize in optimizing image processing and recognition, while recurrent neural networks (RNNS) specialize in processing sequential data, making them ideal for speech recognition and natural language processing.

Although neural networks have great capabilities, they also face challenges such as overfitting, in which the model overfits the training data, resulting in loss of generalization ability. To mitigate this problem, regularization techniques and dropout strategies are used to ensure that neural networks are robust and effective across different applications[345].

In the magnetic resonance process, neural networks have unprecedented accuracy and adaptability, and play an important role in the field of control materials manufacturing. By learning complex patterns and dynamics, neural networks are able to optimize manufacturing outcomes for smarter, more efficient and high-quality production.

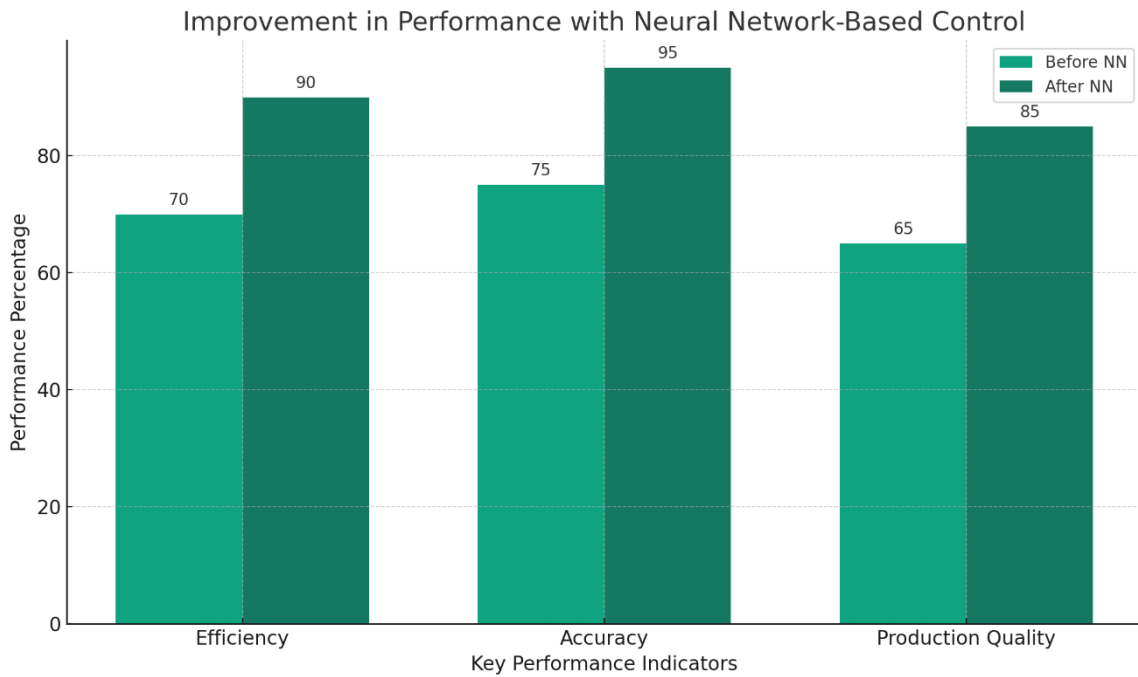


Figure 1:Key Performance Indicators

#### 4. Magnetic Resonance Processes in Material Fabrication

Magnetic resonance processes play an important role in materials science, playing a key role in the manufacture of materials ranging from metals to polymers. These processes utilize the principles of nuclear magnetic resonance (NMR) and magnetic resonance imaging (MRI) to enable detailed analysis and manipulation of material properties. The integrated application of these technologies has made breakthrough progress in material manufacturing, improving the quality and function of production materials.

Magnetic resonance technology is a non-invasive method to detect the internal structure of materials. By applying magnetic fields and radio-frequency pulses, the nuclei in the material emit resonant signals. This signal provides valuable information about the material's composition, molecular structure and dynamics. Table 1 below shows the typical parameters measured during the magnetic resonance process and how they relate to the material properties[346].

Table 1: Typical parameters measured during magnetic resonance

Parameter	Material Property	Description
Chemical Shift	Molecular structure	Indicates the electronic environment of nuclei.
Spin-Spin Relaxation	Molecular dynamics	Reflects the interaction between adjacent nuclei.
Spin-Lattice Relaxation	Thermal properties	Measures the energy exchange with the environment.

In material manufacturing, magnetic resonance technology is used to optimize manufacturing conditions to improve material properties. For example, in polymer synthesis, nuclear magnetic resonance technology can be applied to monitor the polymerization process and ensure that the molecular weight and composition of the polymer meet the specifications. Similarly, in the production of metal alloys, MRI technology can be used to assess the uniformity of alloys, detect and minimize defects during cooling.

Despite the many advantages of magnetic resonance in materials manufacturing, its application still faces some challenges. This includes the complexity of signals and the need for high-resolution devices, factors that can drive up costs and extend analysis times. However, with the continuous advancement of artificial intelligence and machine learning, magnetic resonance processing is ushering in an era of more efficient and accurate processing. With the integration of neural networks, the speed of analysis of complex resonance data is significantly improved, allowing faster and more accurate characterization of materials.

The application of magnetic resonance has completely changed the manufacturing and analysis methods of materials, providing us with insight into the molecular structure and properties of materials. As technology continues to advance, the synergy of magnetic resonance technology and artificial intelligence will further enhance the capability of material manufacturing, pushing the potential boundaries of materials science.

### 5. Integration of Neural Networks with Magnetic Resonance Control

The integration of neural networks and magnetic resonance represents an important advance in the field of materials manufacturing. With the computational and

pattern recognition capabilities of neural networks, this integration can improve the accuracy and efficiency of magnetic resonance processes.

This approach involves data collection, MR Technology to obtain detailed information about material properties, and then neural networks to interpret these signals and adjust control parameters in real time to optimize the material manufacturing process[347].

The integrated technology brings many practical benefits, such as improved efficiency and accuracy of the MR Process, which in turn improves the manufacturing quality of the materials. In fact, the technology has potential applications in numerous industries, such as pharmaceuticals and metallurgy, fundamentally changing the way they manufacture materials.

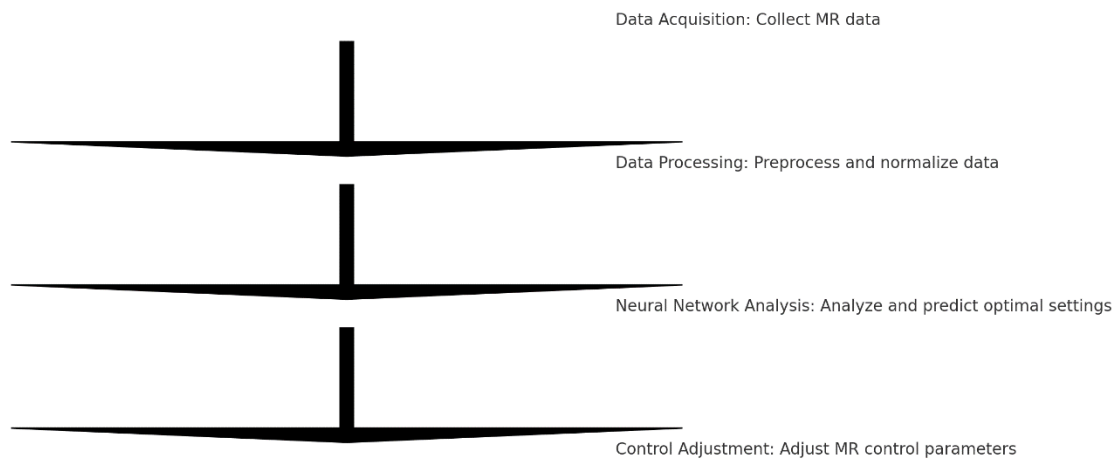


Figure 2: Neural networks and intelligent manufacturing processes

## 6. Experimental Setup and Methodology

In the experimental Setup and Methods section, we describe a method for validating a system that integrates neural networks (nn) with magnetic resonance (MR) control in materials manufacturing. This exploration involves a number of clearly defined steps, including the design of the experimental framework, the execution and analysis of the results. The structure of the method ensures the repeatability and accuracy of the experiment, and provides a reliable basis for evaluating the effectiveness of the neural network enhanced MR Control system.

The aim of this experiment is to evaluate the effect of neural network integration on the accuracy and efficiency of the nuclear magnetic resonance controlled material

manufacturing process. We will use key performance indicators (KPIs) such as manufacturing time, error rate, and material quality to evaluate. We will compare and analyze the traditional magnetorheological control system with the one enhanced by neural network algorithm.

The test equipment consists of two main parts: magnetorheological control system and neural network platform. The magnetorheological control system uses advanced sensors and actuators to monitor and regulate the manufacturing process, and the neural network platform is used to process the magnetorheological data and make real-time control decisions.

Data collection: Starting point data is obtained from conventional NMR control procedures.

The neural network algorithm is applied in the magnetorheological control system to realize the system integration[348].

Testing and calibration: Tuning the integrated system by conducting preliminary tests.

Use conventional and neural network enhanced MR Controls to perform experiments in the manufacturing process and record relevant key performance indicators.

Data analysis content: The collected data is analyzed to evaluate the impact of neural network integration on process efficiency and quality.

This experimental framework is designed to rigorously test the hypothesis that neural network integration can significantly improve the control and outcomes of MR-driven material fabrication processes. The methodology not only facilitates a comprehensive evaluation of the NN-enhanced MR system but also contributes to the broader understanding of intelligent manufacturing technologies.

## 7. Results and Discussion

This section presents the results of experiments designed to evaluate the effectiveness of neural network (NN) and magnetic resonance (MR) control in the material manufacturing process. The results are discussed in the context of established performance metrics, providing a comprehensive analysis of the impact of neural

network-enhanced MR Control on the efficiency, accuracy, and quality of manufacturing processes.

According to experimental data, integrating neural networks into MR Control systems can significantly improve all key performance indicators (KPIs). Notably, the efficiency of the material manufacturing process increased by 20% and the precision of the NMR control operation increased by 25%. By testing and evaluating the properties of various materials, the quality of the final product is improved by 30% compared to the traditional MR Control method.

It is found that the fusion of neural network and magnetic resonance control system can greatly improve the efficiency, accuracy and quality of the material manufacturing process. With the ability to learn and adapt to complex data patterns, neural networks can dynamically and precisely control magnetic resonance processes to achieve outstanding manufacturing results.

While in line with expectations, these findings highlight the potential of AI-powered solutions to revolutionize traditional manufacturing methods. However, in various industrial applications, the long-term stability and scalability of neural network enhancements in MR Control systems still need to be further studied.

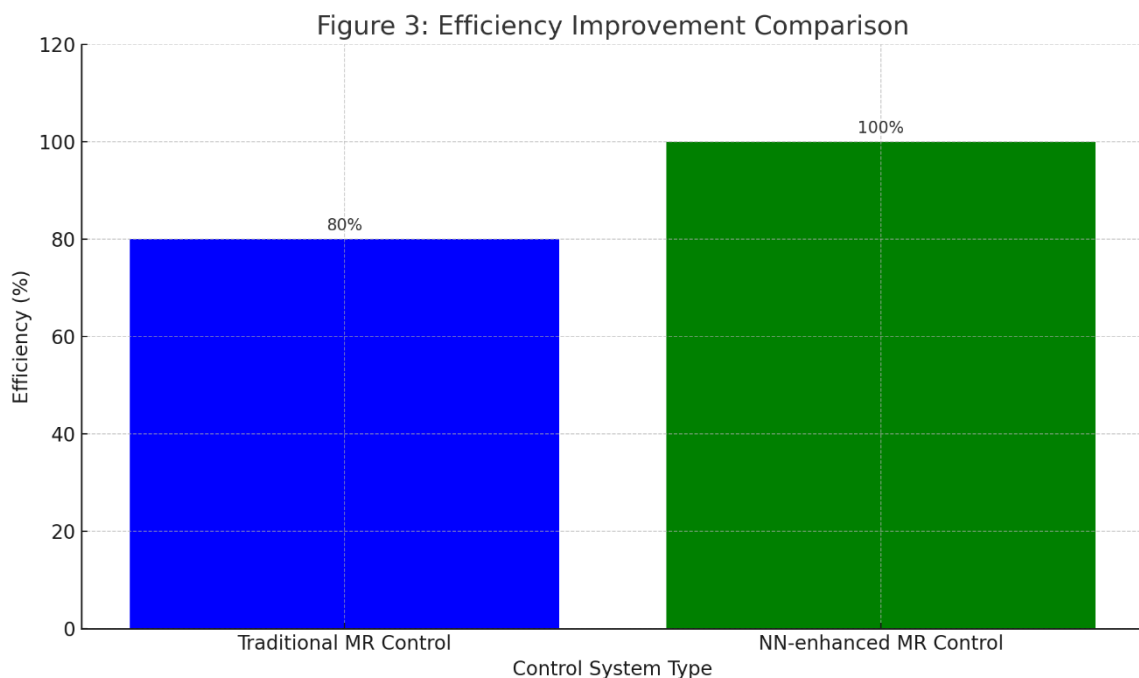


Figure 3: Efficiency Improvement Comparison

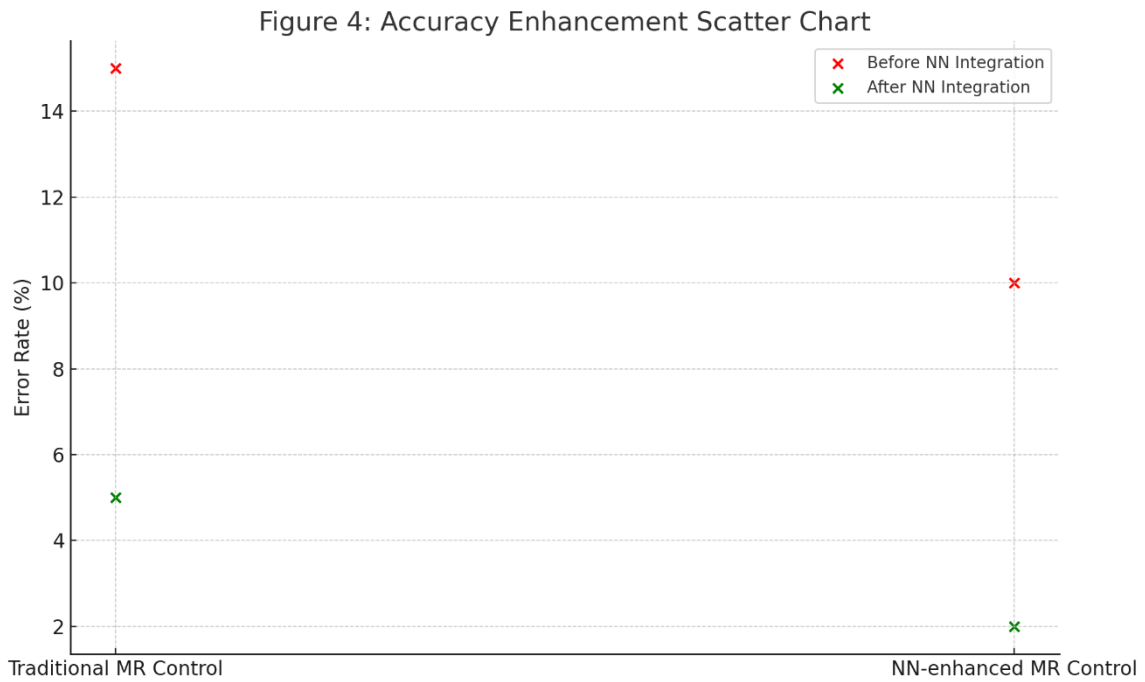


Figure 4: Accuracy Enhancement Scatter Chart - A scatter chart will be placed here.

## 8. Conclusions and Future Work

This section summarizes insights gained from research on the fusion of neural networks (nn) and magnetic resonance (MR) control in smart materials manufacturing. The results highlight the substantial enhancement of process efficiency, accuracy and material quality by this fusion. In addition, a future work section Outlines potential directions for extending this research, highlighting the need to further explore the scalability and applicability of neural network-enhanced MR Control systems in different industrial Settings.

This study shows significant advances in the field of intelligent manufacturing, especially in integrating neural networks with magnetic resonance control systems. The results clearly show that neural networks greatly improve the efficiency, accuracy and quality of the material manufacturing process. Through exhaustive experiments and analyses, it has been proven that neural networks can interpret complex MR Data with high accuracy, allowing for finer control of the manufacturing process.

Through this integrated approach, it not only paves the way for complex material manufacturing technologies, but also demonstrates the potentiality of AI to enhance traditional engineering processes, contributing to the field of intelligent manufacturing.

As pointed out in the results section, the improved process results confirm that the neural network algorithm has a significant optimization effect on the hypothesis of nuclear magnetic resonance controlled material manufacturing.

Looking ahead, the study opens up several directions for future research. One important area is the search for long-term stability and reliability of neural network-enhanced MR Control systems in industrial applications. By conducting longitudinal studies, we can gain a deeper understanding of the durability and maintenance requirements of these systems.

Another promising research direction is to explore the adaptability of neural network-enhanced MR Control systems in different materials and manufacturing environments. The study will cover various material tests of the system's performance, assessing its flexibility and adaptability under different manufacturing conditions and requirements.

In addition, it is worth exploring the integration of advanced AI technologies, including deep learning and reinforcement learning, with MR Control systems. These technologies can bring significant improvements in process optimization, opening up whole new areas of intelligent manufacturing.

In summary, the fusion of neural networks and magnetic resonance control represents an important advance in the field of materials manufacturing. By combining artificial intelligence and traditional engineering techniques, the efficiency, accuracy and quality of manufacturing processes have been significantly improved, demonstrating its great potential. As the field continues to evolve, ongoing research is critical to realizing the full potential of intelligent manufacturing systems, driving innovation and enhancing industrial outcomes.



## 10.2 Аналіз сучасних інструментів для Business Intelligence

Сучасна епоха цифрової економіки дозволила власникам бізнесу скористатися допомогою нового технологічного інструментарію і використовувати його для свого зростання. Бізнес-аналітика дозволяє малим, середнім і великим підприємствам використовувати потужність великих даних, аналізуючи їх і виробляючи тенденції та рішення.

Business Intelligence (BI) – це поєднання інструментів, технологій, додатків і методів, які допомагають підприємствам збирати, інтегрувати, аналізувати та подавати необроблені дані в глибоку та практичну бізнес-інформацію (Рис.1) [350].

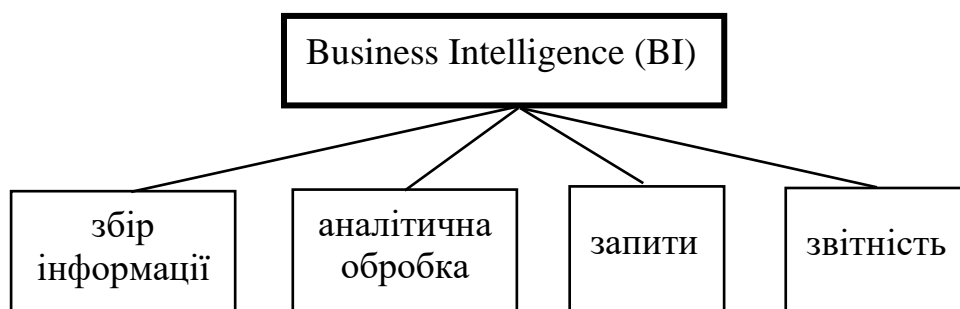


Рисунок 1. Склад BI.

Бізнес-аналітика допомагає керівникам компаній, бізнес-менеджерам та іншим оперативним керівникам, на основі даних, приймати кращі бізнес-рішення. Багато компаній використовують BI для скорочення витрат, виявлення кращих можливостей для бізнесу та виявлення неефективних бізнес-процесів.

Переваги бізнес-аналітики, безпосередньо впливають із мети, якій вона служить у сучасному бізнес-сценарії (Рис. 2).

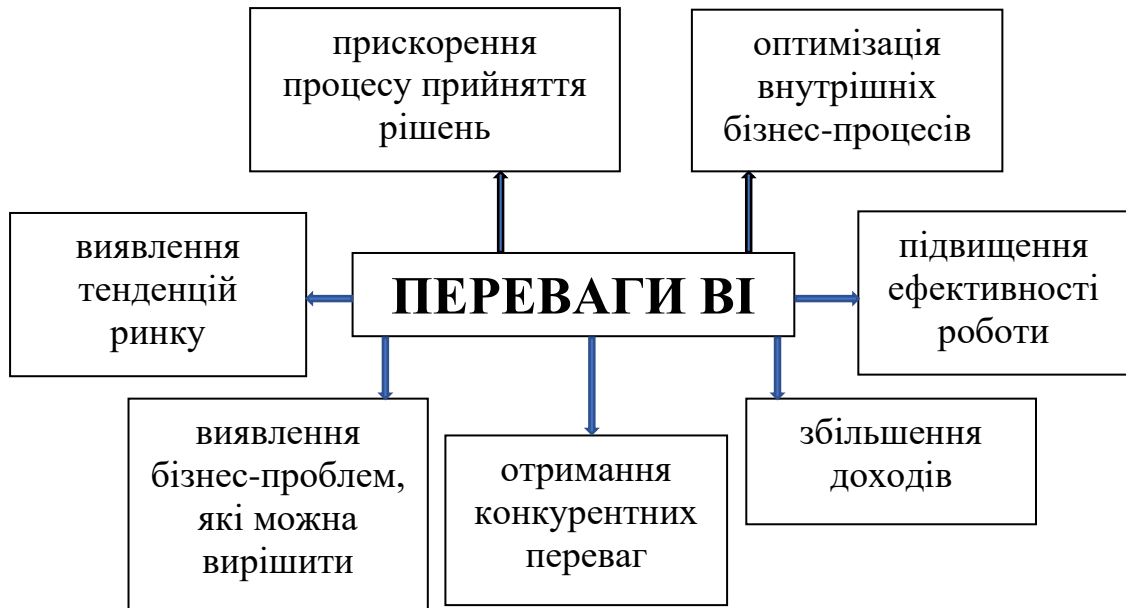


Рисунок 2. Переваги ВІ.

Використання бізнес-аналітики потребує, щоб інформація, яка виходить з організації, була структурована та доступна для аналізу. Бізнес-аналітика дозволяє підприємствам приймати стратегічні рішення. Тому наявність системи, яка зберігає інформацію в централізованому сховищі та оновлює її відповідно до регламенту, веде до кращих бізнес-рішень і фінансових показників.

Основними тенденціями у використанні ВІ стають такі [351,352]:

1. Демократизація даних

Щоб підвищити ефективність використання аналітики даних, необхідно ґрунтуватися не на інтуїтивних оцінках та суб'єктивних думках співробітників, а на фактичній інформації з єдиного джерела. Впровадження ВІ інструментів на всіх рівнях використання аналітики в компанії сприяє демократизації даних. Демократизація даних дозволяє застосовувати data-driven підхід, що значно зменшує неточності при ухваленні рішень. Використання даних на рівні всієї компанії допомагає співробітникам глибше занурюватися в реальну ситуацію та приводити об'єктивні аргументи.

## 2. Персоналізація торгових пропозицій

Кризові стани в економіці примушують ритейлерів покладати зусилля на залученні клієнтів, використовуючи нові інструменти. Таким методом взаємодії зі споживачами є індивідуальний підхід до кожного клієнта. Коли підприємства зрозуміють модель споживчих покупок, вони можуть створити план, який виходить із порівняння історії покупок і прогнозів, зроблених інструментом бізнес-аналітики. Це не тільки дозволяє їм краще знати про своїх клієнтів, але й дозволяє оптимально використовувати ресурси

## 3. Вбудована аналітика та самообслуговування ВІ

Інтеграція інструментів у бізнес дозволяє зробити робочий процес гнучким, ефективним і кастомізованим. Користувацький досвід співробітників у процесі особистого аналізу даних глибше розкриває розуміння бізнес-процесів компанії та впливає на результати її діяльності. Популярності набуває аналітика самообслуговування. Такі процеси значно прискорюють доступ до аналітичних даних для бізнес-користувачів. Автономія в роботі з даними робить внутрішні бізнес-процеси компанії більш гнучкими. А використання інтуїтивно зрозумілих ВІ інструментів не складає проблеми для працівників компанії.

## 4. Хмарні технології

Хмарні технології спростили взаємодію компаній з їхніми даними. По-перше, зберігання та обробка даних у хмарному середовищі не потребує специфічного обслуговування. Інтерфейс є інтуїтивно зрозумілим та адаптивним, що підвищує ефективність використання інформації співробітниками. Сховища даних у хмарній інфраструктурі організовані більш лаконічно, що є перевагою перед складним обслуговуванням локальних серверів. Хмарні платформи є ефективним інструментом для процесу демократизації даних і розвитку культури споживання даних на всіх рівнях у компанії.

## 5. Візуалізація даних

Представлення великих обсягів даних у наочному вигляді не є новою ідеєю, але залишається ефективним та потужним інструментом. Використання різноманітних графічних методів візуалізації даних задовольняє потреби у

сприйнятті набагато більшої кількості інформації. Візуальні інструменти ВІ допомагають зробити правильні висновки на основі даних швидше та легше, прискорюючи процеси прийняття рішень.

Бізнес-аналітика допомагає компаніям покращити знання про клієнтів, що дозволяє забезпечити найкращий рівень задоволеності та утримання клієнтів. Бізнес-аналітика дає змогу пов'язувати точки взаємодії з усіма клієнтами, мати миттєвий доступ до об'єднаної інформації про клієнта, поточних випадків обслуговування, історії покупок та їх поточної позиції у циклі продажів.

За допомогою бізнес-аналітики власники бізнесу можуть:

- позбутися вузьких місць;
- удосконалити свій бізнес-процес;
- автоматизувати їхні щоденні завдання;
- бути більш організованими;
- розставити пріоритети своїх завдань без фізичної праці.

Завдяки успішному впровадженню бізнес-аналітики підприємства можуть забезпечувати краще обслуговування клієнтів, ефективніше використовуючи час продавців на продажі. Ефективність бізнес-елемента підвищується на старшому рівні завдяки автоматизованому створенню звітів та інтуїтивно зрозумілим інформаційним панелям. Це дозволяє їм відстежувати кожну інформацію про контакти та угоди кількома кліками.

Бізнес-аналітика допомагає аналізувати велику кількість даних, не забираючи багато часу, і допомагають підприємствам розробляти стратегії майбутнього розвитку. Завдяки правильному розумінню аналітичних даних підприємства можуть легко скористатися сучасним поглядом на ведення поточних продажів і післяпродажного обслуговування. Це також позбавляє власників бізнесу від усієї непотрібної хмари гіпотез і упереджень, які зазвичай спрямовують бізнес на неправильний курс.

З кожним роком ефективність використання даних аналітики в ритейлі підвищується. Це допомагає компаніям і підприємствам покращувати взаємодію з клієнтами та сприяти прогресу внутрішніх бізнес-процесів. В умовах

непередбачуваних змін економічної ситуації перед представниками роздрібною торгівлі постає питання про оптимізацію витрат на інвестиції в інструменти Business Intelligence та ефективність використання даних співробітниками.

Наприклад, у 2023 році рівень впливу даних аналітики тільки підвищувався. Ось ключові тенденції в ухваленні рішень на основі використання BI (Рис. 3) [351].



Рисунок 3. Ключові тенденції в ухваленні рішень на основі використання BI у 2023 році.

Інвестиції в покращене програмне забезпечення бізнес-аналітики та не менш кваліфіковані професіонали для роботи з цими інструментами дозволяють підприємствам покращити свою здатність передбачати ринкові тенденції та особливості покупців.

BI-системи – це аналітичні системи, що об’єднують дані з різних джерел інформації, обробляють їх і надають зручний інтерфейс для всебічного вивчення та оцінки отриманих відомостей. Такі дані можуть досягати поставлених бізнес-цілей за допомогою оптимального використання наявних даних. Комплексний аналіз даних у всіх напрямках бізнесу дозволяє підвищити його ефективність і знизити витрати [353].

Відповідно до підходу аналітиків Gartner Group виділяють три основні типи інструментальних засобів ВІ.



Рисунок 4. Інструменти ВІ

Для включення до категорії систем аналітики та аналізу дане програмне забезпечення повинне задовольняти наступним критеріям [354]:

- збирати та формалізувати дані в будь-якій сфері бізнесу чи предметної галузі;
- дозволяти будувати формальні моделі: математичні, системні, візуальні (діаграми та схеми);
- пропонувати користувачеві можливості для аналізу побудованих моделей.

**SAS Business Intelligence** є частиною корпоративного рішення SAS. Інформаційна система дозволяє проводити аналіз даних у режимі онлайн, здійснювати контроль за показниками ефективності з метою отримання прибутку.

Система бізнес-аналітики включає 6 модулів: Visual Analytics, Visual Statistics, Office Analytics, Enterprise Guide та Enterprise BI Server. SAS Visual Analytics дозволяють акумулювати різні дані в єдиному джерелі з подальшою обробкою. Графічний інтерфейс спрощує процес вирішення завдань бізнес-аналізу та визначення залежностей чи відхилень. Функції системи SAS Visual Analytics включають виявлення даних завдяки інтерактивній взаємодії та візуалізації (анімовані та мережеві діаграми, теплові карти, кореляційні матриці, дерево рішень тощо); використання попередньо встановлених форм та графіків, створення власних уявлень; бізнес-аналітика без залучення ІТ-фахівців, що дозволяє побудувати найбільш актуальне подання даних та вибрати оптимальний прогноз; доступ до даних через мобільний додаток; візуальний аналіз географічних даних на карті; імпорт та експорт даних, а також можливість автоматичного оновлення та синхронізація; керування обліковими записами з можливістю моніторингу активності користувачів (рис.5).

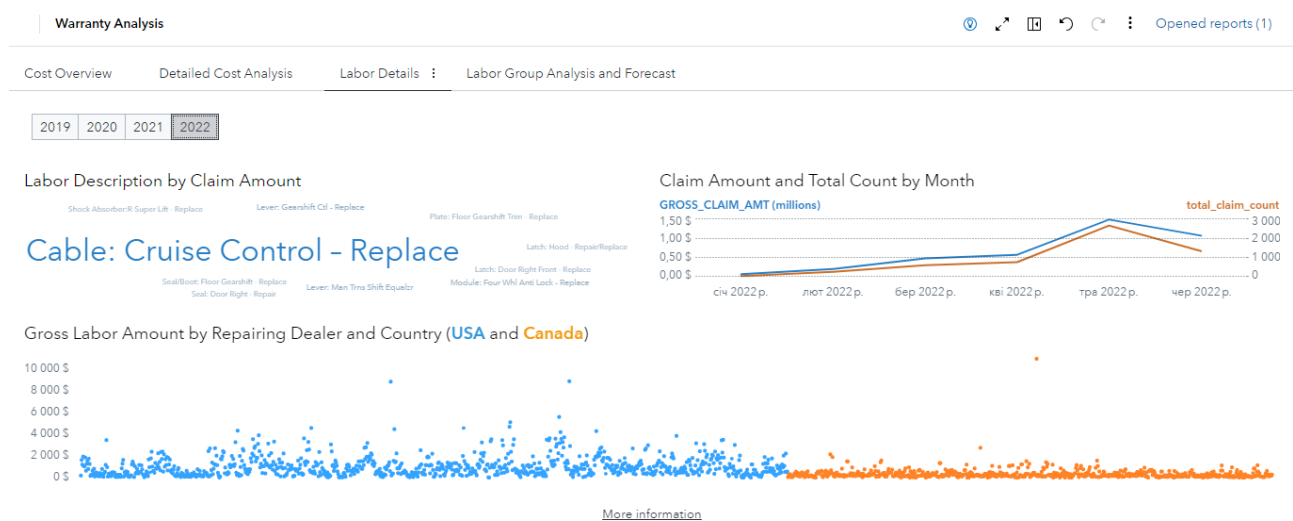


Рисунок 5. Приклад візуалізація аналітичних даних в SAS Business Intelligence

Програмний продукт *Tableau* дозволяє приймати ефективні управлінські рішення і представляє сирі дані у зручному для читання форматі для бізнес-аналізу. За допомогою цього програмного продукту можна проводити

візуальний та інтерактивний аналіз даних з метою визначення неочевидних залежностей (рис.6). Функціонал Tableau включає:

- побудова складних обчислень із існуючих даних;
- здійснення прогнозів;
- виявлення тенденцій;
- перегляд статистичних зведень.

За допомогою даної системи можна проводити аналіз тенденцій, трендів, регресій та кореляцій, підключатися до даних, що знаходяться на хмарі або сервері, використовуючи запити.

Ключова відмінність Tableau від конкурентів полягає в його особливій функції – змішуванні даних – комбінуванні даних із різних БД та джерел. Також Tableau дозволяє кільком користувачам одночасно працювати над звітом у реальному часі. Ще, у платформі реалізовано кілька способів, як можна ділитися звітами: публікуючи їх у сервері Tableau; через e-mail Tableau Reader; через доступ за посиланням.

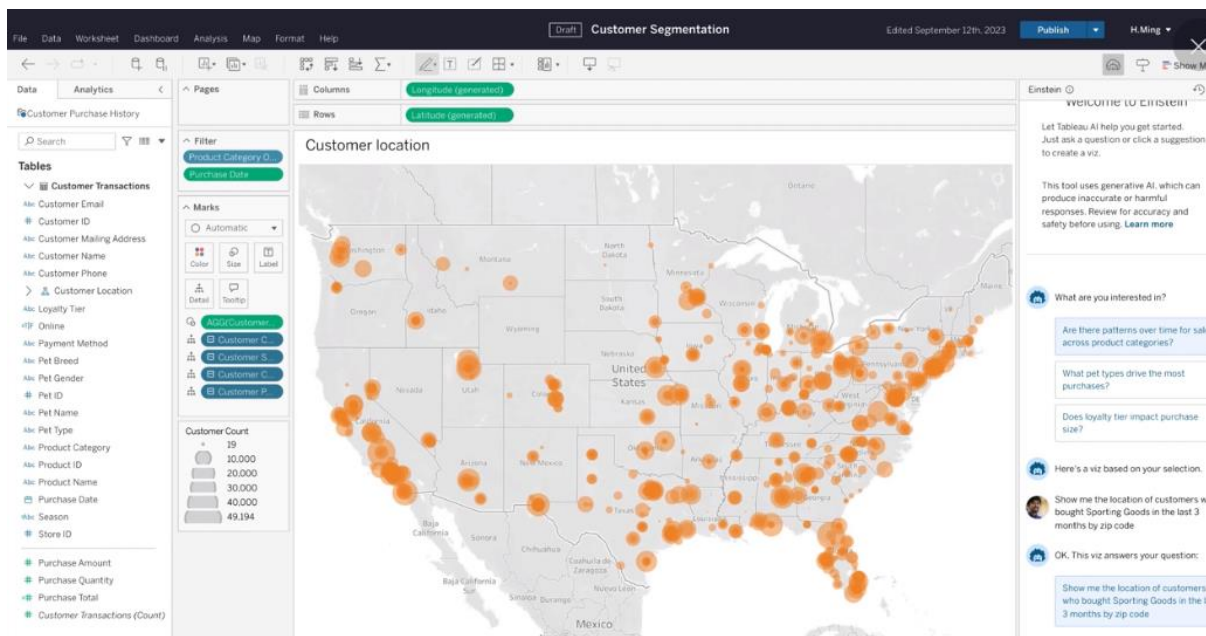


Рисунок 6. Приклад побудови дашборду в Tableau



*Datawiz-io* – BI система для магазинів. Включає в себе понад 60 аналітичних звітів для всіх процесів мережі. Сервіс дає можливість створювати індивідуальні дашборди для візуалізації на основі отриманих даних, що дозволить спростити процес аналізу усіх основних показників в режимі реального часу та відстежувати зміни, які можуть вплинути на мережу та її ефективність (Рис. 7).

Звітність сервісу BI дозволяє відслідковувати динаміку продажів (запаси, втрати, прогноз OOS, надлишки, товари для переобліку). А також аналізувати ефективність асортименту, маркетингових кампаній, надійність постачальників.

Унікальні алгоритми надають інсайти з даних, зменшують час на аналіз і заощаджують його на прийнятті важливих, зважених рішень.

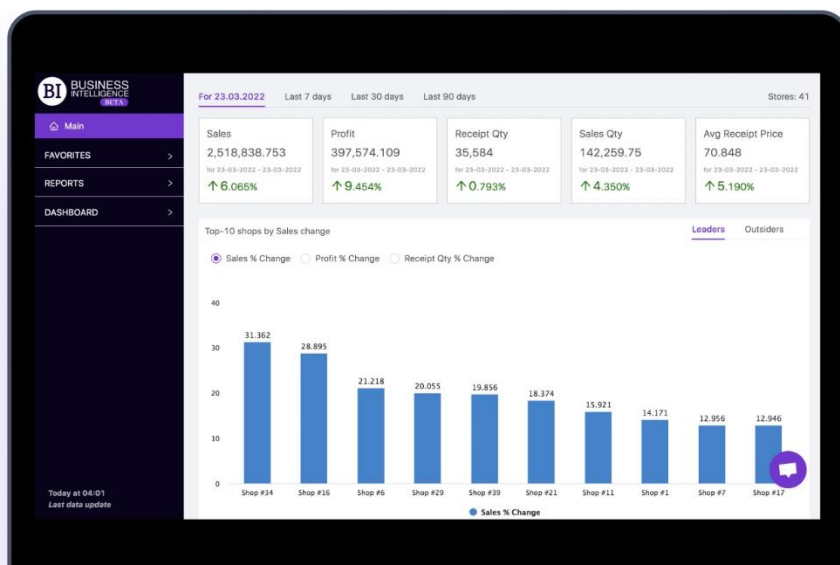


Рисунок 7. *Datawiz-io* BI система.

Можливість оцінити всі основні показники по кожному товару та категорії в розрізі магазину, регіону чи всієї мережі. BI звіти допомагають проаналізувати виконання планів, причини зниження/росту продажів, порівнюючи дані рік до року, місяць до місяця, день до дня. Сервіс включає в себе інструменти для оперативного пошуку причин негативної чи позитивної динаміки на всіх рівнях, починаючи від магазинів, спускаючись до категорій та SKU.

Аналітика основних показників та зведена звітність по всіх постачальниках мережі дає сильну перевагу в переговорному процесі. Звіти BI дозволяють аналізувати стабільність постачань, рівень сервісу, кількість залишків, повернень чи втрат через недопоставки. Ця інформація дає можливість оцінювати доцільність співпраці з кожним постачальником по кожному товару та змінювати домовленості з ними, якщо це необхідно, враховуючи всі ключові показники, в тому числі й фінансові - умови післяплати, вартість капіталу, GMROI (Рис. 8).



Рис. 8. Аналітика основних показників та зведена звітність.

Частина звітів в сервісі BI націлена на роботу з базою клієнтів програми лояльності. Вона дає можливість сегментувати базу, визначати ключових, проблемних чи аномальних покупців, робити RFM, когортний аналіз і звіт про відтік клієнтів для прийняття стратегічних і тактичних рішень. Аналіз споживчого кошика дає підґрунтя для формування вашої унікальної торгової пропозиції і можливість таргетувати цю пропозицію на правильний сегмент споживачів [351].

Програмний продукт Microsoft Power BI – це набір функціональних модулів бізнес-аналітики та звітів, виявлення та підготовки даних про бізнес. Програма дозволяє працювати з даними будь-якої предметної галузі: логістики, продажу, фінансів та виробничих процесів підприємства. Система Microsoft

Power BI дозволяє перетворювати дані на різні візуальні уявлення, з можливістю подальшого експорту інформації. Система Power BI спрощує візуальне вивчення та аналіз даних з будь-яких видів джерел: хмарні чи локальні – в одному поданні. Програмне забезпечення Microsoft Power BI надає можливість спільної роботи та налаштування панелей моніторингу та інтерактивних звітів, з можливістю налаштування системи прав доступу та управління безпекою.

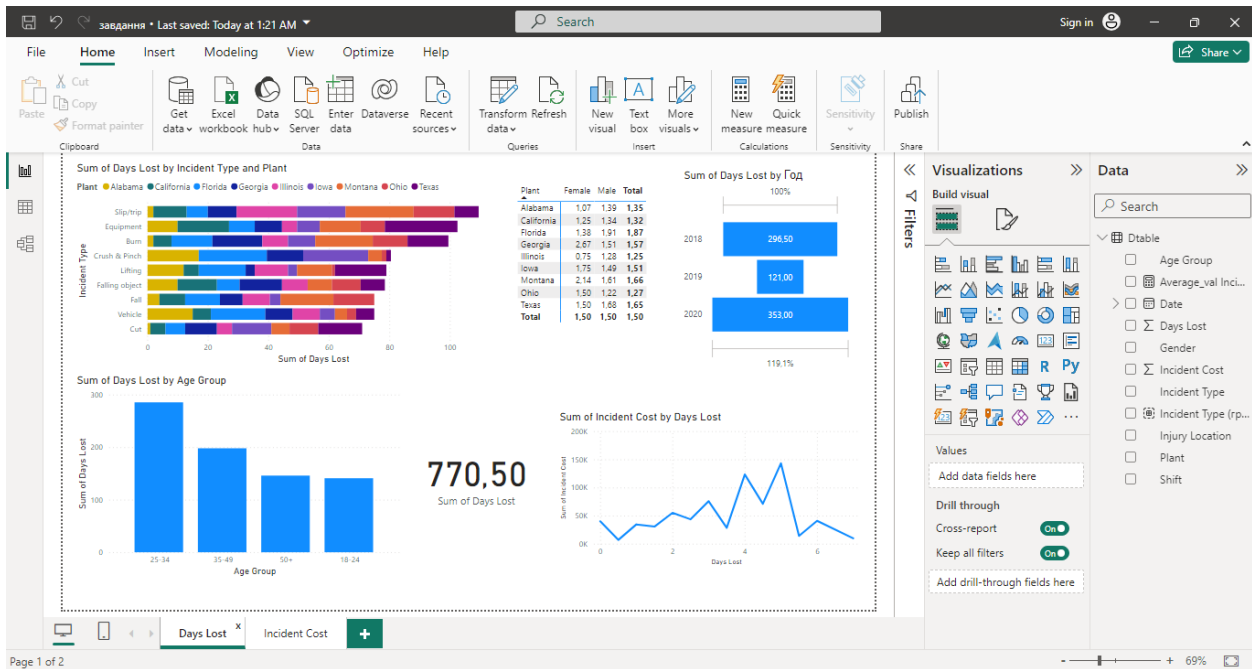


Рис. 9. Приклад побудови дашборду в Microsoft Power BI.

Ключовими перевагами від впровадження BI-системи на даний момент є підвищення швидкості та точності складання звітів, аналітики та планування, підвищення ефективності процесів прийняття рішень, збільшення задоволеності клієнтів.

Великі дані відіграють важливу роль у виявленні того, як споживачі думають, досліджують, купують і перестають бути лояльними клієнтами. Швидкість створення даних буде тільки прискорюватися найближчим часом. Головною причиною цього прискорення є зростання загальнодоступних джерел інформації, як то соціальні мережі, пристрої IoT, цифровізації більшості

регулярних дій (оплати покупок, візити до лікаря, замовлення послуг та покупки в Інтернеті).

За допомогою таких рішень та інструментів використання даних аналітики стає набагато ефективнішим і водночас простішим у використанні. Індивідуалізація відображуваних даних підвищує вплив на бізнес і надає автономію в ухваленні рішень - швидше, точніше, ефективніше.

## SECTION 11. MATH

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.11.1

### **11.1 Modeling the characteristic features of the processes of structure formation in some building composites**

To this day, there is a large volume collected of the results of experimental studies on structure changes in various dispersions serving as base for production of most construction materials. The analysis of collected information revealed that there is an entire category of stick-slip phenomena, the case history of which is represented by *N*- and *S*-type inflections on rheological, kinetic and other curves. We should emphasize that the view of such non-trivial charts is alike with geometry of standard curves of standard conditions. And this likeness predetermines the possibility of applying topological models of «fold» and «ruffle» types for studying various abnormal effects. We must also note that besides *N*- and *S*-types there is a range of other characteristics («flags») pointing to applicability of the methods of catastrophe theory to studying certain processes initiating the apparition of interruptions in system development. Recognition of above-mentioned particularities allows determining the fact and type of catastrophe, the standardised structure of which facilitates finding strict patterns and thus defines directions of optimisation of various situations of research and practical nature. This work shows that pieces of evidence and consistent patterns are reliably interpreted within the framework of the proposed concept.

As is known, mortars and concretes based on mineral or organic binders and a great variety of building materials are typical dispersion composites. The technology of obtaining such materials on the basis of disperse systems is characterized by a number of general and typical processes associated with interaction and mutual distribution of dispersion phases [355-357]. Such processes as mixing, transportation, compaction, de-compaction, deformation of basic disperse systems are inevitably accompanied by the formation and disintegration of dispersion structures. These distinctive features of the cross-linking of highly concentrated and highly dispersed systems, under the conditions of dynamic influences, radically influence the

technology of high-quality dispersion composite materials. In this regard, the solution of the complex problem of obtaining the majority of construction composites with a given structure and predictable performance criteria while reducing the resource intensity for their production is inextricably linked with theoretical and experimental studies in the field of physics-chemistry of initial disperse systems.

For most structured disperse systems in a variety of heterogeneous chemical-technological processes of the production of composite materials carried out during forced convective diffusion of dispersion phases, the non-equilibrium dynamic state is predominant. Therefore, the determining elements of regulation of these processes should be based on modern concepts and principles of physical and chemical dynamics – the new physics-chemistry scientific direction of disperse systems developed in recent years by N.B. Uriev and his school [355-357].

The physics-chemical dynamics of disperse systems mainly considers the dynamic processes taking place in the aggregate of particles of disperse phases connected by the action of dispersion forces into the spatial structural grid; the mechanism of the decay of such structures under dynamic conditions with the formation of aggregates out of them; their development, mutual interaction and interaction with the dispersion medium (up to the disintegration into separate particles with the release of the dispersion medium immobilized in them). Along with the processes of destruction of the structure of aggregates within the framework of physical-chemical dynamics, reverse processes of the formation of structures under conditions of dynamic influences on the system are also considered.

The basis of the physicochemical dynamics of structured dispersions consists essentially of the understanding of the laws and methods for implementation of the optimal dynamic state of systems. It is in this case that the lowest viscosity level and the corresponding maximum fluidity of the maximally and isotropically destroyed structure (equiprobably in terms of the volume of the system) may be achieved, which is a necessary condition for obtaining materials with specified properties.

To describe the processes of development of disperse structures under dynamic conditions, the methods based on rheological measurements are traditionally used with

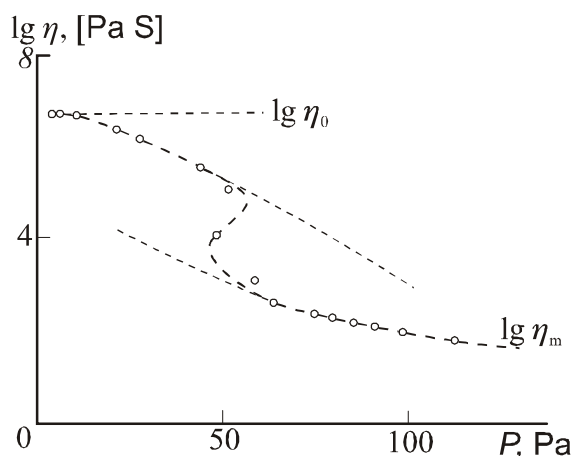
the plotting and analyzing of complete process curves. Understanding the nature of the anomalous rheological behavior of dispersions provides the opportunity of creating a controlled isotropic dynamic state; it serves as the background on which the main technological process is carried out [357]. In this regard, the question of an informative analysis of non-trivial results of the study of the dynamics of contact interactions between particles of disperse phases, processes of structure formation and disruption of dispersions under dynamic conditions is practically significant for optimizing the technology of composites.

It is known that construction composite materials (mortars and concretes based on mineral or organic cements, slips for making ceramics, coating compositions and many other such dispersions) may be approached as self-organizing systems, the evolution of which in time and space is accompanied by apparition of dissipative structures. Since most above-named systems are characterised by stick-slip phenomena conditioned by interruption of continuity in developing processes of various types, it is proposed to enrich the synergetic approach to studying structure formation particularities with methods of catastrophe theory, which is studying sudden qualitative system reformations resulting from smooth change of external conditions or internal properties.

As indicated in [357], the production of dense, strong and durable composite materials is largely determined by the conditions for the formation of the structure upon mixing. The overriding importance of mixing in comparison with other technological processes is regulated by the fact that the basics of the future structure are laid already in the course of the mutual distribution of the constituent components during shear deformation due to rotation of the machine's mixing organs. Description of the behavior of most disperse systems during mixing, as well as in a variety of chemical-technological processes carried out during forced convective diffusion of disperse phases, consists in constructing a complete rheological process curve. Since shear deformation occurs during mixing, the behavior of the disperse system in the gap between the coaxial cylinders of the rotational viscometer may to some extent simulate this operation.

Such curves, obtained with the help of rotational viscometers, show the dependence of the effective shear viscosity  $\eta$  on the deformation rate gradient  $\dot{\epsilon}$  or the shear stress  $P$  with the obligatory realization of the isotropy of the destruction of the system located in the measuring cell. Under such conditions, a shear with a given intensity extends over the entire gap («pure homogeneous shear» under Rebinder) [358], which determines the isotropic character of the structure breakdown.

In accordance with the known classification proposed by Bartenev and Ermilova [359], the existence of the flow curves of two types is typical of structured disperse systems. A single-valued dependence of viscosity and the shear rate gradient on stress is typical of fairly well-studied flow curves of type I. For less studied type II curves, one observes regions of viscosity variation or the rate of deformation development corresponding to an ambiguous change in stress, that is, a drop of  $P$  in a certain range of  $\dot{\epsilon}$  values. Such an anomalous effect is manifested in the S-shaped flow curves. Rebinder *et al.* [358] obtained the S-shaped flow curves for some clay suspensions that were investigated by Bartenev and Ermilova [360] and explained in terms of the proposed molecular-kinetic theory of a non-Newtonian flow (Fig. 1).



**Figure 1.** Dependence of logarithm of viscosity  $\eta$  from shear stress  $P$  for 10% suspension of Na-bentonite;  $\eta_0$  is the highest viscosity of a virtually undestroyed structure, and  $\eta_m$  is the least viscosity of the completely destroyed structure

It should be noted that compliance with the «pure homogeneous shear» in the general case is violated when a certain critical concentration of elements of microinhomogeneities in the volume of the system is reached and exceeded. The deformation of the systems therewith is accompanied by an irreversible local aperture



of continuity. As a result, the shift does not extend over the entire gap, but is realized in a relatively thin layer while maintaining an undisturbed or far less disturbed structure in zones immediately adjacent to the discontinuity surfaces. This effect means a violation of the continuum in changing the linear velocity over the cross section of the gap when the strain rate is exceeded.

The anomaly of the shear flow process characterized by the type II curves as a consequence of a local structure discontinuity (i.e., when the shear flow is not distributed over the system bulk) was presumably for the first time interpreted in [361]. The theory of this phenomenon was elaborated in [362] on the basis of notions about the presence of local structural microinhomogeneities, whose coalescence under the shear conditions determines the nucleation of a macroinhomogeneity; it was also based on the comparison of relaxation times of processes taking place near the discontinuity nucleus during its development. The proposed approach rather accurately describes the main singularity of the  $\eta ( P )$  curve for concentrated suspensions, namely, the appearance of a «plateau» region associated with the formation of discontinuity at low  $P$  values. The discontinuity is experimentally detected from the abrupt drop of shear stress on reaching the critical, for a given system, deformation rate  $\dot{\epsilon}_c$  as it increases within a very narrow range. The subsequent increase in  $P$  with  $\dot{\epsilon}$  reflects the behavior of a system merely in the discontinuity region rather than throughout its bulk. Thus, the shear deformation of disperse systems in the gap of coaxial cylinders leads to a significant rearrangement of the microstructure with the formation and development of one or several local shear zones, depending on the concentration of the dispersion phase in the dispersion medium. One of the possible factors for the appearance of local slip zones, equivalent to aperture of continuity, is a jump in concentration near the boundary of the macroinhomogeneity formed during deformation.

The hypothesis about such a mechanism of destruction in the shear flow was confirmed in by microphotographs of the structure of aqueous dispersions of calcium bentonite. The kind of discontinuity thereby strongly depends on the solid-phase content in the dispersion medium and correlates with the graphically general view of

the dependence of the structure strength on the particle concentration. The following variants are possible: true discontinuity under the conditions of liquid-phase deficiency ( $\varphi \gg \varphi_{2c}$ ); the formation of one ( $\varphi \geq \varphi_{2c}$ ) or several ( $\varphi \ll \varphi_{2c}$ ) slip zones at an excess content of the liquid phase with the formation of solid-like layers ( $\varphi_{2c}$  is the second concentration corresponding to the onset of a sharp strengthening of the structure).

The appearance of discontinuity and its subsequent development during deformation exclude [361] the shear distribution over the system bulk, which makes it impossible to reach the minimal level of viscosity and the total failure of the structure. Such a phenomenon leads to a misrepresentation of measurement results and, accordingly, to the impossibility of plotting the total flow curve. This is evidenced [357] by the reproducibility of flow curves in the case of downward and upward motion (the presence of hysteresis loops). This effect is most pronounced at  $\varphi > \varphi_{2c}$ .

Thus, under dynamic non-equilibrium conditions, qualitative changes are observed in the behavior of disperse systems with an increasing intensity of external action: the original structure is destroyed, and a new, laminar structure is formed. This phenomenon is reflected in an unusual run of flow curves.

To further develop the notions on the laws and mechanism of formation, stability, and destruction of structured dispersions, it is expedient to add [363-365] to the explanation of their possible anomalous behavior as a specificity of coagulation under dynamic conditions the analysis of the processes in terms of synergetics and the theory of catastrophes taken together. As is known, synergetics deals [366-368] with the investigation of the processes of self-organization of structures of various nature formed in systems that are far from equilibrium, and the theory of catastrophes describes [369] those threshold situations in which dissipative self-organized structures arise, are maintained, and lose stability. Within the framework of this approach, disperse systems under dynamic conditions are interpreted as self-organized systems whose evolution in space and time is accompanied by the formation of dissipative structures. It should be noted that whole variety of real stepwise changes of states of such systems (their qualitative restructuring) caused by smoothly varying

external actions is described by a small finite number of canonical models – catastrophes.

Because the catastrophe theory provides a method to simulate some violations of the continuous development of various processes, it was suggested [363-365] to interpret possible forms of the manifestation of qualitative structural changes in the shear flow as catastrophes. The *S*-shaped inflections of flow curves (Fig. 1) illustrate the radical changes in the character of the flow of structured disperse systems. Hence, it is assumed that their anomalous run is identical to that of the standard curve of stationary states [370]. This fact permits the existence of three stationary regimes with the same values of some (master) parameter, thereby making hysteresis phenomena possible [367]. The inflection points of the curve correspond to bifurcation parameters, at which the number of stationary states changes in a jumpwise fashion («catastrophically») with a simultaneous change in the type of stability. Moreover, the unstable states in the middle part of the curve are virtually never realized in real systems.

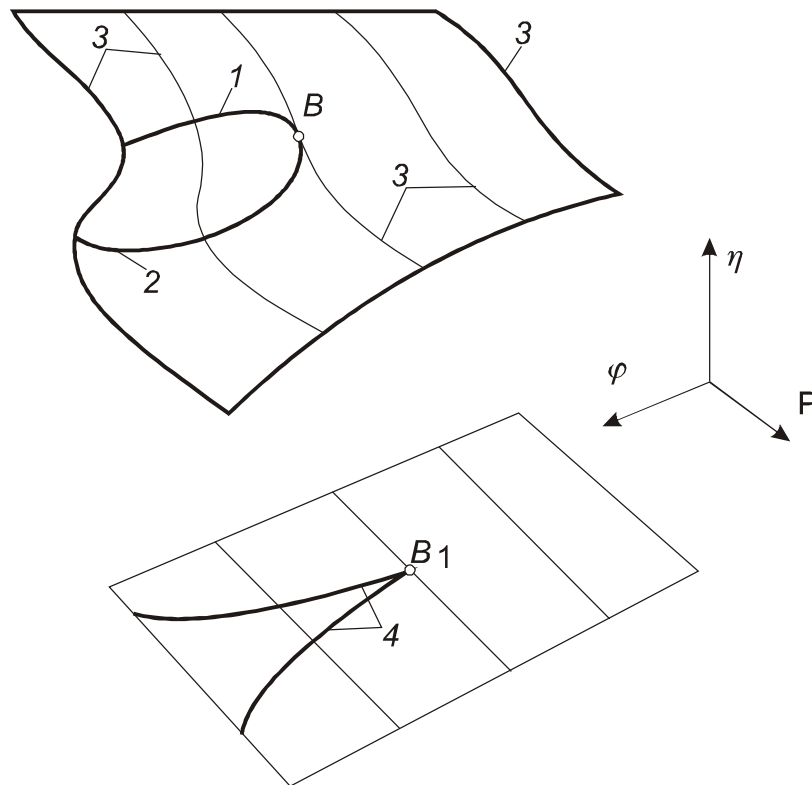
Thus, the features typical of the flow curves II are inherent to the curve of stationary states. It should be noted that this analogy is presumably both apparent and meaningful. In accordance with [360], two stable and one unstable flow regimes are observed (Fig. 1) in some zone of drastic drop of viscosity at the same shear stress. Consequently, it can be assumed that the theoretical *S*-shaped dependence adequately reproduces the real pattern of the loss of the original flow stability and transition to a new stable regime. Such an assumption allows to predict the character of flow curves in the situations where it is difficult to obtain experimental data.

In the case of rheological curves on which the region of recovery of stresses is due to the discontinuity [359], this model takes into account the phenomenon of stepwise transition of a deformable system from the state with a practically undestroyed structure to a qualitatively new state with a specific (layered) kind of destruction. The «threshold» stresses at which changes in the shape of rheological curves are noted are considered as bifurcation stresses. The anomalous portion between the bend points corresponds to unrealizable states of the volume isotropic damage of the structure,

since a full rheological curve in the region where the effective viscosity changes from  $\eta_{max}$  to  $\eta_{min}$  can only be obtained [362] when «pure homogeneous shear» is realized. The lower part of graphical dependence corresponds to distorted measurement data describing actually only the processes of friction between the layers confined by the slipping surfaces and a possible partial failure of the structure in the zones adjacent to the fracture. In accordance with the experimental data, such an approach allows to interpret the jump on a flow curve as a consequence of the development of macroinhomogeneity, namely, discontinuity, from the microinhomogeneities of dispersion structure under external action.

As was shown in [361], for some systems, one can obtain the set of flow curves that are characterized by even more pronounced S-shaped pattern with increasing concentration of the solid phase. In particular, this tendency is clearly observed in the flow of an aqueous calcium bentonite dispersion. It is proposed [363-365] to employ the «ruffle» catastrophe for studying the peculiarities of shear flow, since the considered curve of stationary states represents the cross sections of this model at fixed  $\varphi$  values (Fig. 2). The catastrophe of such a type describes the investigated process using one state variable ( $\eta$  or  $\dot{\epsilon}$ ), two master parameters  $P$  and  $\varphi$  and represented by a qualitative model (surface) in the 3D space of these generalized coordinates. The most interesting property of a given surface is the presence of two fold lines beginning at the so-called ruffle point  $B$  and forming a bifurcation curve (semi-cubic parabola with the tip at point  $B_I$ ) on the plane of master parameters  $P, \varphi$ . These points correspond to the first critical concentration  $\varphi_0$ . On reaching the latter, 3D network starts to form, and the anomalies are observed in the flow of disperse system.

The stable stationary regimes geometrically correspond to the points on the surface of manifold of the catastrophe «ruffle», that lie on the upper and lower sheets outside the fold curve, whereas the unstable regimes, to the points on the middle sheet inside the fold curve (the region of inaccessibility which may presumably be treated as a zone of unrealizable states of isotropic failure even with increasing intensity of external effects).

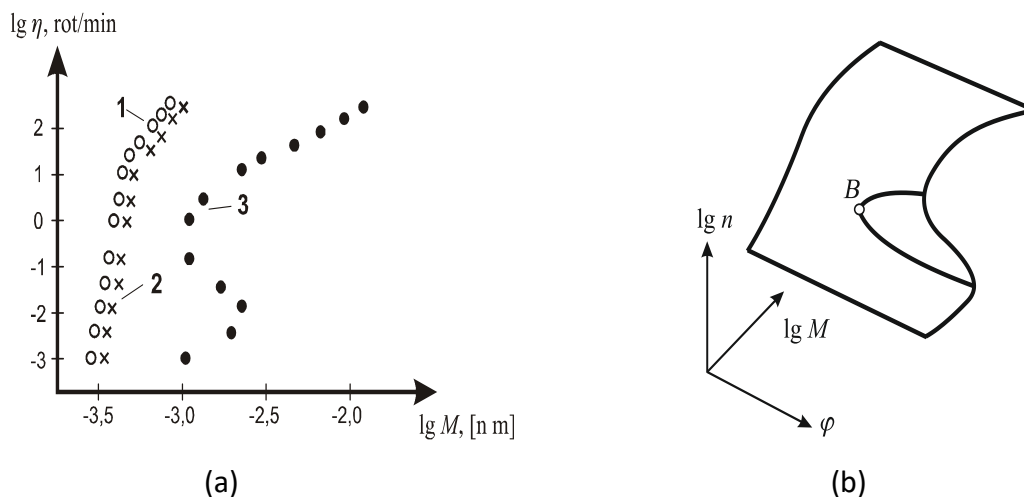


**Figure 2.** The schematic representation of the dependence of viscosity  $\eta$  of the aqueous calcium bentonite dispersion on shear stress  $P$  and the content of dispersed phase  $\varphi$  (the «ruffle» model, the principle of maximal delay); 1 and 2 are fold lines; 3 is the cross sections model;  $B$  is the ruffle point; 4 is the bifurcation curve;  $B_1$  is the bifurcation point

Qualitative diversity of the system is determined by various combinations of master parameters. In the considered case, the parameter  $\varphi$  is called splitting parameter, since, on exceeding its critical value, the model surface is splitted up into two sheets, i.e., its variation controls the probability of ambiguity of  $\eta(P)$  function and the emergence of jumps. If the condition ( $\varphi > \varphi_0$ ) is fulfilled, then, on varying the second (normal) master parameter  $P$ , the right-hand edge of the ruffle is reached. This leads to a jump from one stable stationary flow regime with a virtually undestroyed structure on the upper sheet to another stable stationary regime having local slipping zones on the lower sheet. The fold lines (the right- and left-hand ruffle edges) correspond precisely to those combinations of master parameters that initiate the jumpwise state variations. Such a representation, combining the whole set of possible variants of the aforementioned flow curves in one scheme, is in good agreement [362] with the known experimental results and provides fairly complete information on the

qualitative changes in the rheological behavior of disperse systems upon a continuous shear deformation due to discontinuities.

In particular, similar patterns of an extreme nature were also found [371] when studying how rheology of aqueous dispersions of calcium bentonite of a coarse-dispersion phase is influenced by quartz sand with different grain sizes. The influence of the volumetric concentration  $\varphi$  (10, 30 and 50%) of a coarse-dispersion filler 0,22 mm upon the size on the configuration of the graphical dependences of the torque  $M$  on the inner cylinder of the rotary viscometer «Reotron» depending on the number of revolutions  $n$  of the outer cylinder was considered (Fig. 3, a). Comparison of the results obtained confirmed the assumption of a significant change in the rheological behavior of the compositions with an increase in  $\varphi$ , which manifested itself in the qualitatively different nature of the experimental curves. The geometry of the curve 3 with a clear S-shape can be explained by the formation of slip zones in the system being deformed with an increase in the content of the coarse-dispersion phase up to 50%. Similarly, anomalous effects (but in the region of higher  $\varphi$ ) were recorded for dispersions containing a coarse-dispersion filler with a particle size of 0,05 mm.



**Figure 3.** Impact of density  $\varphi$  of coarsely dispersed filler over rheological behavior of inorganic: 1 – 10%, 2 – 30%, 3 – 50% (a); transformations of rheological relationship  $\lg n$  ( $\lg M$ ) with increase of content of coarsely component (the «ruffle» model) (b)

According to the above, it is assumed that the pronounced specificity inherent in the totality of the considered graphical dependencies allows us to interpret each of them as a cross-section of the «ruffle» catastrophe at a certain value of  $\varphi$  (Fig. 3, b). The

possibility of such a model generalization testifies to the general nature of the phenomenon under consideration.

It should be noted that in modeling real situations with sudden catastrophic changes of regimes, it is necessary to take into account [367] the presence of two main directions connecting the geometry of catastrophes to the system being investigated (maximal delay and Maxwell principles). The choice of one of the principles is determined by the nature of the phenomenon itself. For instance, in the above-considered case, the first principle is realized according to which the system makes a jump to another state only if it has no other choice. Moreover, it is expedient to use it, in particular, in describing and analyzing phenomena associated with the loss of physicochemical stability and hysteresis effects [355]. Hysteresis is [369] one of the basis qualitative features of the ruffle-type catastrophe in the case of using the principle of maximal delay.

As is known from [357], the appearance of a discontinuity means that the continuum in the change of velocity  $v$  in the cross section of the viscosimeter running clearance  $\Delta r$  at  $\dot{\epsilon} > \dot{\epsilon}_c$  is broken. The analysis of the velocity  $v$  distribution scheme at a continuous shear deformation has shown that the observed effect [367] can be described fairly well by a model of the «ruffle» type whose geometry obeys the Maxwell principle. In this case, there arises a situation analogous to the formation of the so-called shock wave (break) characterized by sharp changes in the profile. With increasing velocity of shear in passing through some critical value of  $\dot{\epsilon}_c$  the shock wave suddenly kick the system into a new state. It should be noted that the profile of velocities  $v$  is interpreted in [369] as «ruffle» type catastrophe cross sections for various  $\dot{\epsilon}$ . Here the deformation rate acts as a splitting parameter predetermining the possibility of a considerable change in the clearance linear velocity profile.

Extending the list of possible kinds of schematic representations of  $v$  profiles corresponding to different variants of structural changes in systems in a shear flow by using the nonlinear wave theory seems informative as well. Since a rigorous

mathematical analysis is rather difficult, it makes sense to qualitatively determine the most important features of the break formation on the basis of an analogy with the investigations of collective phenomena in plasma, which also use [372] the model notion of the shock wave. The character of the structure of the latter depends on the viscosity of the system being investigated. If the viscosity is small enough, then the general qualitative profile shape corresponding to the velocity jump is a shock wave with a decaying oscillating structure located ahead of its front (soliton packet). The lower the viscosity, the larger the number of oscillations (breaks). With increasing viscosity an ordinary shock wave without oscillations with a monotonous structure takes place. Thus, ordinary aperiodic shock waves and soliton packets are interpreted as various limiting situations for one and the same nonlinear process. As applied to disperse systems, these model notions agree with experimental results: to monotonous and oscillating profiles there correspond single and multiple discontinuities [355].

Within the framework of the catastrophe theory allowing to model some discontinuities in developing processes of various types, for establishing the most significant features of the occurrence of high density zones, an analogy can be drawn with the formation of a cluster of particles («birth of pancakes») according to Zeldovich. Zeldovich's theory [373] describes similar structural reorganizations using a number of geometric forms – elemental catastrophes, including the «ruffle» type (taking into account the presence of two scenarios for the development of compaction formation processes, namely, the principles of maximum delay and Maxwell). In the first case, the model of occurrence of three-stream (S-shaped) configurations is considered. In this scenario, the intersection of particle trajectories leads to local features being equivalent to caustics resulting from the intersection of rays in geometric optics and which are the places with the largest cluster of particles. In this case, the continuity of the flow velocity change is violated. The velocity profile becomes three-digit: three streams of particles pass through one point of space with different velocities; an «overlap» occurs, i.e. a fold is formed. The density of substance in a «pancake» being limited by caustics is the sum of the densities of these flows. Such an approach is appropriate in interpreting the effect of compression of structured



dispersions; collapse leads to lamination and breaches in the system. The second approach illustrates, through ideas about the shock wave, the origination of compacted regions during shear deformation. This model takes into account collisions of particles; therefore, a jump-like transition of the system to a new state at a certain critical value of the deformation velocity is accompanied by the transfer of particles and their sticking to the structure of the base layer. The proposed interpretation describes the process of «layering» of particles of solid phases, contributing to the formation of a compacted structure.

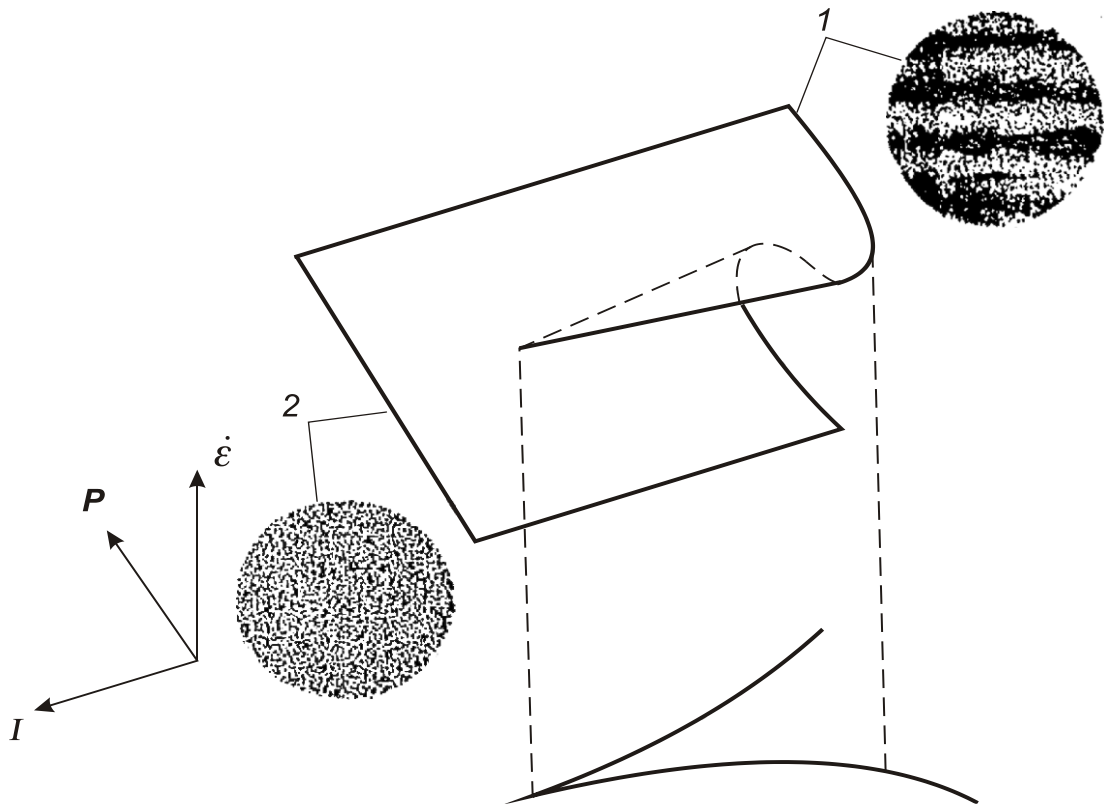
Thus, the qualitative peculiarities of the behavior («the catastrophe features») of the investigated disperse systems the possibility of simulating the general pattern of processes, thus facilitating the prediction and study of separate anomalous phenomena that are observed during the flow of structured dispersions.

As mentioned above, structured dispersions away from the thermodynamic equilibrium in the field of external actions are typical synergetic dissipative systems. In the course of their evolution, under dynamic conditions, a considerable reorganization of the microstructure at a certain critical value of the velocity of shear (parameter corresponding to the bifurcation point) occurs. The initial structure is split into layers (i.e., local volumes bounded by the slip surfaces). Inside these volumes contacts between dispersed-phase particles are not broken and the degree of nonuniformity, which corresponded to the moment of the appearance of the initial (static) structure in the systems, is preserved. A breakage of cross-links, with respect to the flow direction, between the structural elements of the initial cellular-type space mesh and a displacement of the liquid phase from the spacing between particles when the cell boundaries break down are observed. There is a clear tendency for a transformation of the cellular structure to a layer structure, which becomes most pronounced when the solid phase concentration decreases within limits sufficient for self-organization. The cells extend in the shear direction and dissipative layer structures are formed. The development of these structures was preceded [355] by a compaction in local volumes of particle microaggregates with a gradual formation of shear planes in the zones of the largest aggregations of packing defects.

Thus, at a deformation in disperse system irreversible processes of restructuring caused by the cooperative interaction of defects can proceed [367]. A deformable dispersion with defects (initial local imperfections) displays a behavior which can be represented as an asymmetric bifurcation diagram. In terms of the theory of catastrophes to such an evolution pattern there corresponds the above-mentioned assembly-type catastrophe («ruffle» model).

It also seems informative to describe the mechanism of layering of disperse systems as a process of formation of contrast dissipative structures [374]. Since for the existence of such a structure the presence of a set of «activator-inhibitor»-type parameters in the literal sense is not necessary, it is expedient to consider, as a deforming variable, the initial nonuniformity [375].

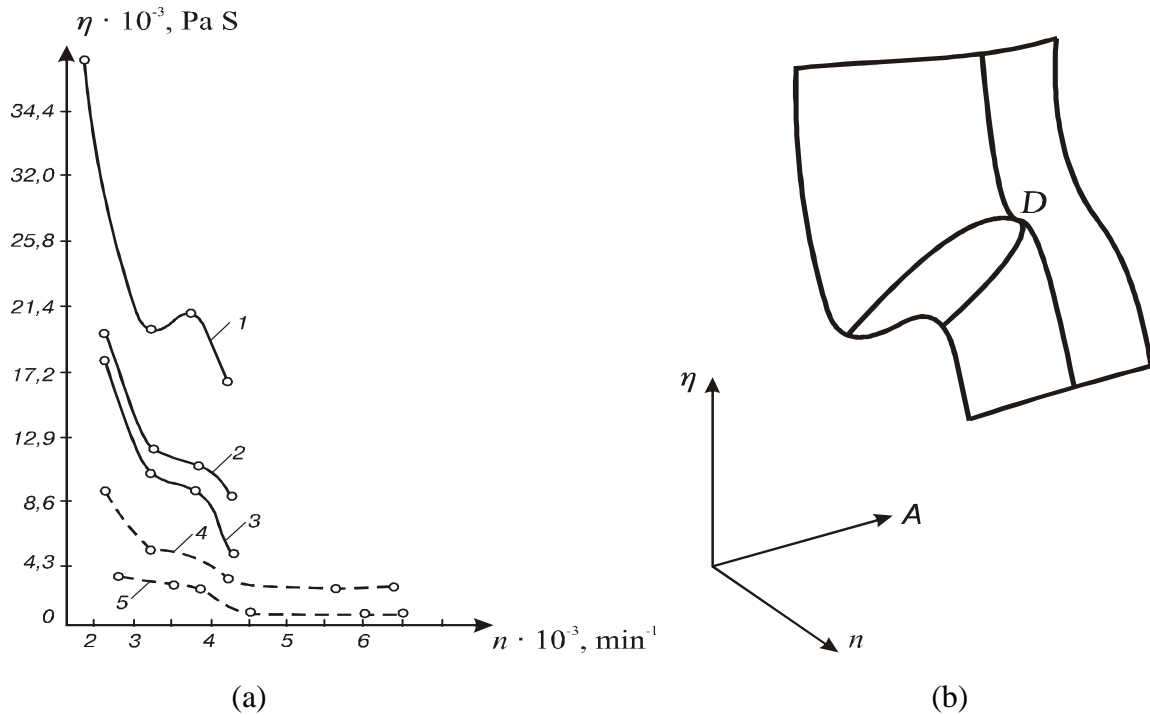
Consequently, the moment of the appearance of a layering is a precursor of the transition  $t_j$  the accumulation of reversible damages under the action of external force fields. The superposition on a deformable system of a vibration with optimum parameters radically changes [361] the character of its destruction in the shear flow. A destruction of compacted layers with an avalanche formation of microaggregates of particles with simultaneous formation of a structure in the form of cells with loosened coagulation contacts is observed, and the slip zones thereby disappear. From the point of synergetics such an effect can be explained [376] by the increase in the degree of nonequilibrium of the system under an additional action of the vibration, as a result of which the structure is shredded, as a rule. This interpretation is in qualitative agreement with experimental results: a combination of a continuous shear with an oscillation orthogonally directed to it causes [362] the structure to break down into aggregates whose size decreases and whose number increases with increasing vibration intensity  $I = a^2 w^3$  ( $a$  is the oscillation amplitude and  $w$  is the circular frequency). It is assumed that the «ruffle» model, located as indicated in Fig. 4, clearly illustrates the peculiarities of structural changes in disperse systems with increasing  $I$  that are manifested in the reconstruction of flow curves.



**Figure 4.** The transformation of flow curves  $\dot{\epsilon}(P)$  with increasing vibration intensity  $I$  upon the orthogonal oscillation (the «ruffle» model); the rheological dependences and corresponding dispersion structures:(1) without vibration and (2) during the vibration with optimal parameters

It should be noted that, along with the above  $S$ -shape, the pattern of development of the anomaly in the flow process of dispersed systems can also take the form of  $N$ -shaped kinks in the experimental graphs. The class of  $N$ -shaped dependencies is a simpler (in the sense of a standardized interpretation) case; in this situation, obviously, the «fold» catastrophe is applicable. In this regard, the results of studying the rheological properties of concrete mixtures using a technical vibro-viscometer published in [377] are indicative. This work presents the dependences of the vibro-viscosity of the concrete mixture  $\eta$  upon the frequency  $n$  and the vibration amplitude  $A$  for different values of the water-cement ratio  $W/C$  (Fig. 5, a). Experimental rheological curves ( $W/C= 0.41$ ), which differ in the degree of change in wave-like behavior with increasing  $A$ , can be informatively considered as cross-sections of «fold» catastrophe (Fig. 5, b). In this case, vibro-viscosity acts as a state variable, while frequency and amplitude act as control parameters. It should be emphasized that at the smallest value of the amplitude of the superimposed oscillations, the  $\eta(n)$  dependence is characterized by the presence of a minimum and a maximum, apparently due to self-organization

processes [367]. With increasing  $A$ , these points gradually converge and the graphs take on a less extreme form. Based on the configuration of the model surface, it should be assumed that there is a certain value  $A = A_{cr}$ , at which the singular points merge into one fold point  $D$ , which separates functions of two qualitatively different types.



**Figure 5.** Dependence of vibroviscosity  $\eta$  of concrete mix from the frequency  $n$  and amplitude  $A$  of vibration: 1– 0.24, 2 – 0.32, 3– 0.37 mm (water-cement ratio WCR = 0.41); 4– 0.17, 5– 0.37 mm (water-cement ratio WCR = 0.54) (a); transformations of rheological relationship with increase of vibration amplitude (model «fold») (b)

A similar description is probably appropriate when analyzing two graphical dependencies when  $W/C = 0,41$  and  $W/C = 0,54$ . The governing parameter in this case is the water-cement ratio  $W/C$ . There is a tendency towards a decrease in the slope of the dependence with an increase in the water-cement ratio. To explain the observed effect of a decrease in the vibro-viscosity of a concrete mixture with a change in the frequency and amplitude of oscillations, it seems quite reasonable to use the assumption of an increase in the degree of non-equilibrium of the system and the corresponding crushing of the structure. The qualitative correspondence of the model surface to the known experimental curves is very meaningful, since it leads to the conclusion that the nature of the dependences presented has a well-defined regularity.

It also seems to be expedient to describe and analyze from the above standpoint the kinetic curves of the structure formation of solidifying disperse systems. In the initial stages of the process of spontaneous evolution of these systems, there occur qualitative jumps registered on the plots of such kinetic characteristics as fast elastic deformation modulus, resonance frequency, and limiting shear stress. The effective theoretical description of such transitions is hindered, since the structure formation of disperse composite materials is continuous processes of dissolution, solvation, coagulation, etc. that are superimposed on one another. From the point of view of synergetics, solidifying disperse composites are interpreted as complex nonequilibrium physicochemical systems whose development is accompanied by a self-organization of dissipative structures. Therefore, to reveal the general laws of the behavior of such systems, it is expedient to use [363-365] the approach based on the possibility of modeling the transition of smooth quantitative changes to qualitative ones, i.e., the theory of catastrophes.

The literature data [378, 379] point to the existence of a certain group of structure-formation kinetics curves whose extreme *N*-type form reproduces the geometry of the simplest «fold»-type catastrophe. Agreement between experimental and model curves manifests itself not only in the above-mentioned superficial resemblance of the character of the curves. but in their logical generalization as well.

The explanation of the shape of the curves describing the time change in the fast elastic deformation modulus  $E$  and resonance frequency  $\nu$  of magnesium-oxide-containing water suspensions of moulding powders is associated in [379] with the specificity of the behavior of MgO. Dispersions including this component are characterized by a low critical concentration of the structure formation at which a coagulation structure arises and bonding powers of MgO manifest themselves similarly to cement-mineral mixtures. After a few hours, a sharp strengthening of the system due to the interaction of MgO particles with water and formation, as a result of this, of links between them in the form of  $\text{OH-Mg-O-(MgO)}_n\text{-Mg-OH}$  chains is observed. Such chains form with time a spatial skeleton and go into condensation-crystallization structures, which is illustrated by an increase in the deformation modulus. The definite

decrease in the values of the kinetic indices after 3,5 h is explained by the possible softening of the suspension in the initial stage of formation of point contacts. To prevent the formation of condensation-crystallization structures and preserve the stability of the rheological properties of dispersions, it is necessary to constrain the growth of structural chains and their interaction. The required effect is achieved by introducing into the suspension 0,5–1,0% (of the solid-phase mass) citric acid  $C_3H_5O(COOH)_3$  interacting chemically with a hydrated surface of magnesium oxide particles and molecules that are present in the solution. Since the dissociation constant of citric acid is small, the reaction proceeds slowly. The reaction products formed block the particle surface, which restricts the formation of strengthening structures and determines the constancy of the system's properties.

It should be noted that the experimental results given in the references [378] indicate the existence of a number of similar kinetic curves, with their *N*-shaped course being identical to the loop on the Van der Waals isotherms. Ambiguous dependences of the deformation modulus  $E$ , the resonant frequencies  $\omega$  and the ultimate shear stress  $P_m$  on time  $\tau$  have been obtained, in particular, for aqueous dispersions of tricalcium silicate, cement-water dispersions with and without polymer additives, slips of ceramic radio-electronic materials, vulcanizers based on butyl rubber, filled with soot, cement or chalk. According to the authors, pronounced decays of kinetic activity indicators on graphic dependencies are the result of destructive processes in the systems under consideration. It is also noted that although the essence of the phenomena in progress is theoretically not clear enough due to the complexity of the objects under study, the structure formation processes can be influenced for a definite purpose through introduction of surface-active substances (SAS). As a result of applying the appropriate additives, the properties of the dispersions are stabilized, while the kinetic curves take on a monotonically increasing form. Within the framework of the theory of catastrophes, the characteristic features of these dispersed systems are similar, most likely, the geometry of the catastrophe being «fold» [369].

In the light of the above, it is assumed that the «fold» catastrophe joins in one scheme two possible in this case qualitatively different «marginal» options of structure

formation curves. The three-dimensional model picture reproduces the peculiarities of changes in the indicators  $E$ ,  $v$  or  $P_m$  as functions of time (in terms of the theory being applied  $\tau$  is the generalized coordinate) at various SAS concentrations (control parameter  $C, \%$ ). The family of curves corresponding to different values of  $C$  in the order of its ascending have a configuration adequate to Van der Waals configuration. In the absence or minor content of the additive, dependencies have a maximum and minimum. As  $C$  increases, these points approach, and at a certain  $C = C_{cr}$  value, similar to the Van der Waals critical temperature, merge into one. This concentration of the additive and the corresponding kinetic curve are interpreted as critical. The critical curve of structure formation rises monotonously throughout, except for one point, which is the inflection point of the graph which separates function of two qualitatively different types. A parabola formed by points of maxima, minima and inflection limits the region of thermodynamically unstable states of the system. It seems likely that the moment at which the «fold» points arise on the model surface correlates with destructive changes in the kinetic characteristics due to the self-organization processes in hardening systems. Thus, the results of kinetic studies can be presented as an example of applying of the theory of catastrophes. At the same time, the model being considered, while summarizing some true effects, clearly illustrates the qualitative structural changes in hardening dispersions.

The promise of further development of the kinetic research methodology through combining the above-described topological approach and the methodology of experimental statistical modeling based on «time sections» is also worth noting. In such a situation, it seems quite informative for each fixed point in time  $\tau$  to build experimental-statistical models being third degree polynomials. These models contain third order effects, which determine undulation of single-factor curves, and the corresponding interactions, which vary the degree of undulation in multifactorial space. According to the topological concept, these single-factor dependencies are be considered as the projections of the catastrophe «fold», but, unlike what was stated earlier, in another coordinate system (for example, «concentration SAS –  $P_m$  or its relative change», etc.). The grouping of single-factor curves into a model surface

allows, at each moment in time, to evaluate not only quantitative, but also qualitative changes in the system.

Thus, a comprehensive generalization of the experimental data from studies of the structure formation of dispersions will make it possible to reinterpret some features of the development of these systems. The proposed approach will expand the understanding of the patterns of their formation, which is important for solving many problems in various fields of materials science.

It is noteworthy that, in addition to  $S$ - and  $N$ -similitude, there are also other signs indicating the possibility of using methods of the theory of catastrophes in the study of certain processes which initiate the occurrence of gaps in the development of the system. In particular, this approach is applicable when describing the transition of three-phase disperse systems «solid-liquid-gaseous» with a highly viscous dispersion medium from the state of vibro-compaction to pseudo-liquefaction under conditions of shear deformation under the action of vibration. As indicated in [355], the patterns of interaction of highly dispersed and coarsely dispersed solid phases between themselves and with a liquid medium in the process of structure formation under dynamic conditions in producing various materials (filled polymer composites, concrete, technical ceramics, etc.) are similar, although the differences in chemical composition and rejection mechanism for the initial components can be significant. According to [362], the graphical dependence of the effective viscosity of a highly filled disperse system on vibration acceleration has the form of an edge formed by two branches at a point with  $g_{cr}$  value with causing the maximum value  $\eta_{eff}$ . In this case, the critical acceleration of vibration corresponds to boundary of dispersion transition from the state of vibro-compaction to the state of pseudo-liquefaction. It appears possible to describe the transition being studied using a «ruffle» model surface, since the above experimental dependence is identical in shape to a semi-cubic parabola, which is the projection of this catastrophe on the plane of control parameters  $g$  and  $\eta_{eff}$  according to the principle of maximum delay. This bifurcation curve, consisting of two «fold» lines connecting at the «ruffle» point, divides the control space into areas corresponding to different modes of system operation. Qualitative changes in the behavior of the



dispersion occur only in the case when the «trajectory», preset by the variation of the control parameters, leaves the region inside this curve; the transition vibro-compaction – pseudo-liquefaction seems to take place under similar conditions.

From the same perspective, the behavioral patterns of highly dispersed powders in vibration can be considered. Highly dispersed powders are characterized by [361] spontaneous occurrence of spatial structures formed by particles with direct atomic contacts, which causes considerable difficulties in carrying out a number of technological processes (dosing, drying, initial stages of mixing, transportation, etc.). The elimination of aggregation is one of the main conditions for optimizing the technology of dispersed systems and materials with a given structure and properties. As emphasized above, this effect is achieved by creating a controlled dynamic state; it serves as the background against which the main technological process is carried out.

The number of characteristic dynamic states of the system being investigated is small, but each of them is inherent in a number of technological processes being of the same type in the sense of the same level of rheological properties, and is a necessary condition for principal possibility of their realization [355]. A universal form of dynamic influences which allows to create and maintain such a state is vibration. The imposition of vibration brings the system of particles into one of two possible dynamic states: vibro-liquefaction, in which the powder particles move in relation to each other without disconnection with a decrease in volume as a result of compaction of the structure; vibro-boiling, separation by the mutual movement of particles in relation to each other with complete separation, their intensive mixing and an increase in the volume of the layer. The first dynamic state is preferable in such processes as dosing, transportation, compaction, and the second dynamic state determines realization conditions of the processes of mixing, drying, burning. The main characteristic of these dynamic states is the boundary between them, caused by a combination of circular frequency values and oscillations amplitude, at which the transition of powders from the state of vibro-liquefaction to the state of vibro-boiling occurs. Geometrically, such a phenomenon can be depicted as a qualitative model «ruffle» in the three-dimensional space of generalized coordinates (states of the system, circular frequency and

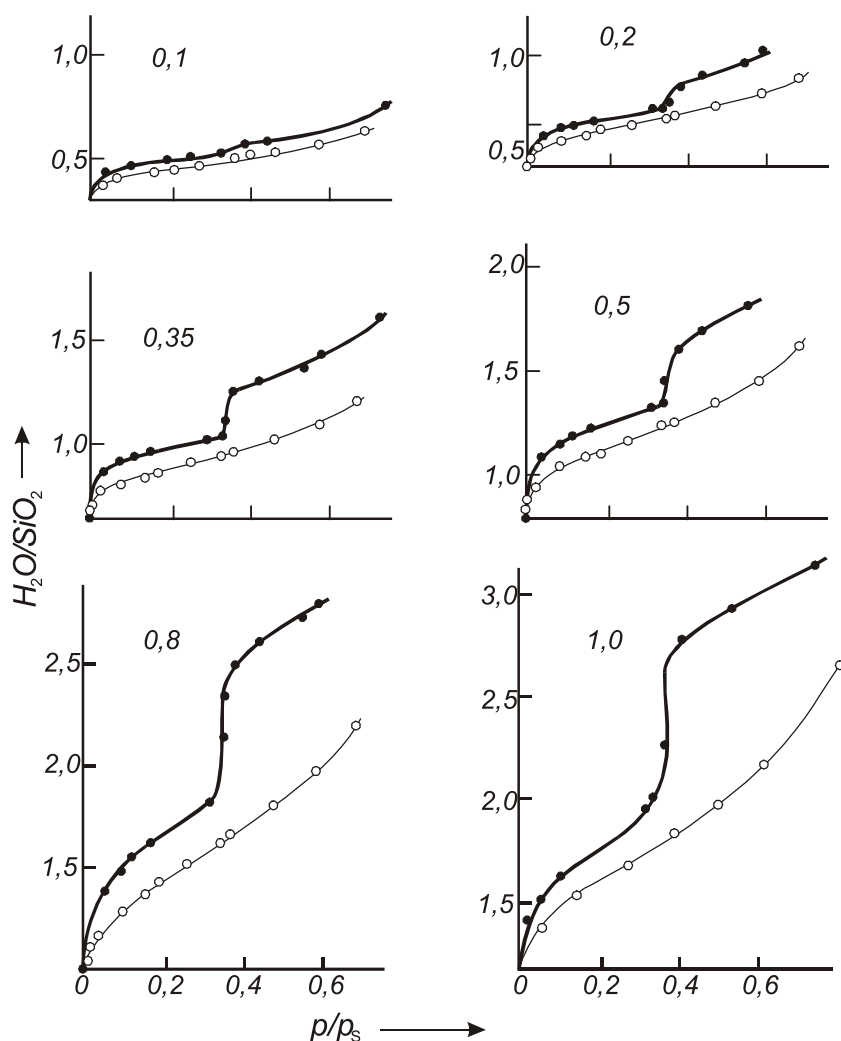
amplitude). The analysis of the projections of this model on the control plane allows us to establish a relationship between the parameters and highlight areas of qualitatively different types of dynamic system behavior. The determination of vibration modes corresponding to the transition of highly dispersed powders from vibro-liquefaction to vibro-boiling provides the opportunity to influence in the most effective way the forming structures being under processes of obtaining dispersed composites.

Thus, the specific examples show the possibility of applying a topological approach for analyzing situations which have a threshold nature, namely, the transition from vibro-compaction to pseudo-liquefaction and the transition from vibro-liquefaction to vibro-boiling (effects typical of real technological processes).

In addition, recognition of above-mentioned particularities allows determining the fact and type of catastrophe, the standardised structure of which facilitates finding strict patterns and thus defines directions of optimisation of various situations of research and practical nature.

It should be emphasized that the previously considered N- and S-shaped kinks are inherent not only in rheological and kinetic curves, but also in a number of graphical dependences experimentally obtained in studying various properties of building materials. In this regard, it seems quite probable that a topological approach may be used to interpret some nontrivial experimental data.

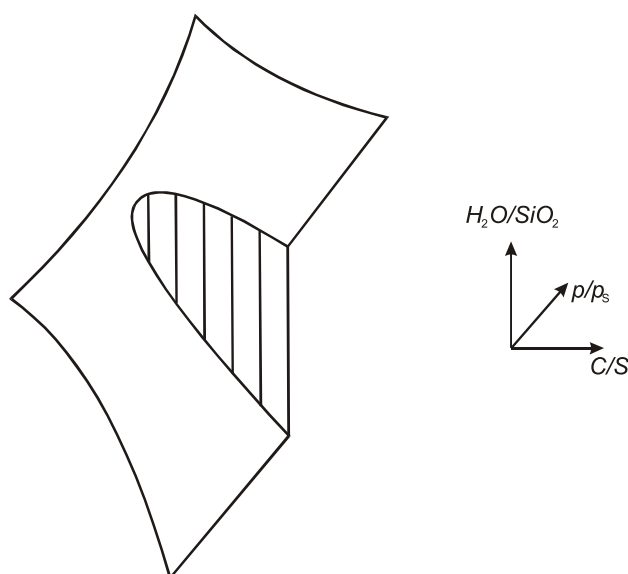
The applicability of the topological approach in the study of the anomalous behavior of the isotherms of water desorption of cement stone, cement-sand mortar, asbestos cement, calcium hydrosilicates C-S-H and C-S-H (I) in a certain region of relative vapor pressure is shown  $p/p_s$  [380, 381]. Figure 6 shows the initial sectors of the isotherms ( $18^\circ$ ) of water sorption-desorption on calcium hydrosilicates at  $C/S = 0.1-1.0$  (black dots – desorption) according to the data [380]. The appearance of a step on the desorption branch of isotherms at  $p/p_s = 0.35$ , which is absent in silica gel,



**Figure 6.** The initial sectors of the sorption isotherms - water desorption on calcium hydrosilicates at  $C/S = 0.1 - 1.0$

was first recorded for a sample with  $C/S = 0.1$ . The decrease in the isotherm increases with increase in basicity and reaches a maximum for the sample with  $C/S = 1$ . In [380, 381], two possible main reasons for the inception and development of the detected effect were put forward: the dissociation of a specific crystalline hydrate or the release of water sorbed by a mobile layered (according to the authors) hydrosilicate structure. It is assumed that these methods of interpreting the isotherm recession are not mutually exclusive, however, their difference lies in the degree of localization of water molecules in the structure. Along with the above, there are [381] a number of other ideas regarding water which is removed during recession, and the mechanism of its influence on the structure. Nevertheless, with all the variety of interpretations, from the standpoint of physical chemistry, the observed phenomenon is of a very general nature,

which is expressed in a specific qualitative scheme (Fig.7). Moreover, the topology of the complex of the available graphic dependencies coincides with

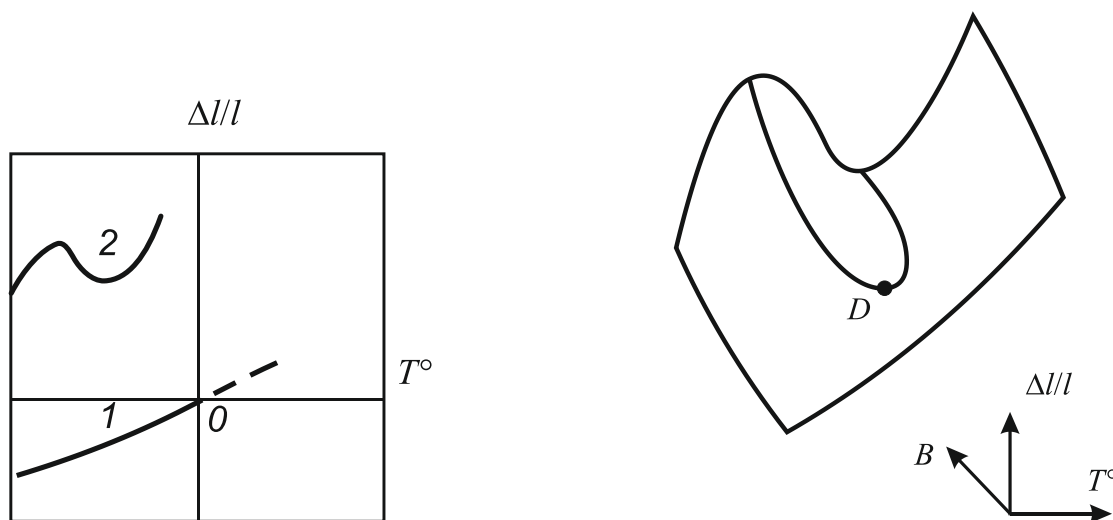


**Figure 7.** Transformation of desorption isotherms with increasing  $C/S$   
(the «ruffle» model, Maxwell's principle)

the shape of the model surface of the «ruffle» catastrophe being correspondent to the Maxwell's principle. As the basicity increases, when passing through its some critical value, a step appears on the desorption branch, the height of the vertical section of which (i.e., the recession) increases with increasing  $C/S$ . In accordance with the topological approach, the isotherms in Fig. 6 are treated as cross sections of the «ruffle» catastrophe for calcium hydrosilicates of different values of basicity. Such a model representation combines individual nontrivial experimental effects into a certain fundamental regularity.

The dependences of temperature deformations of dry and wet concrete also have a qualitatively different character [382]. Dry concrete shortens during cooling according to curve 1 in Fig. 8, a its thermal deformation is characterized by a coefficient of linear thermal expansion. Curve 2 of temperature deformations of wet concrete has an anomalous configuration, since the pressure of water freezing at  $-7,5^{\circ}\text{C}$  in large capillary pores causes an jump-like elongation of the sample. The second maximum on curve 2 is caused by freezing of water in smaller pores during severe frost ( $-47^{\circ}\text{C}$ ). Elongation indicates that the phase transition of water into ice causes internal

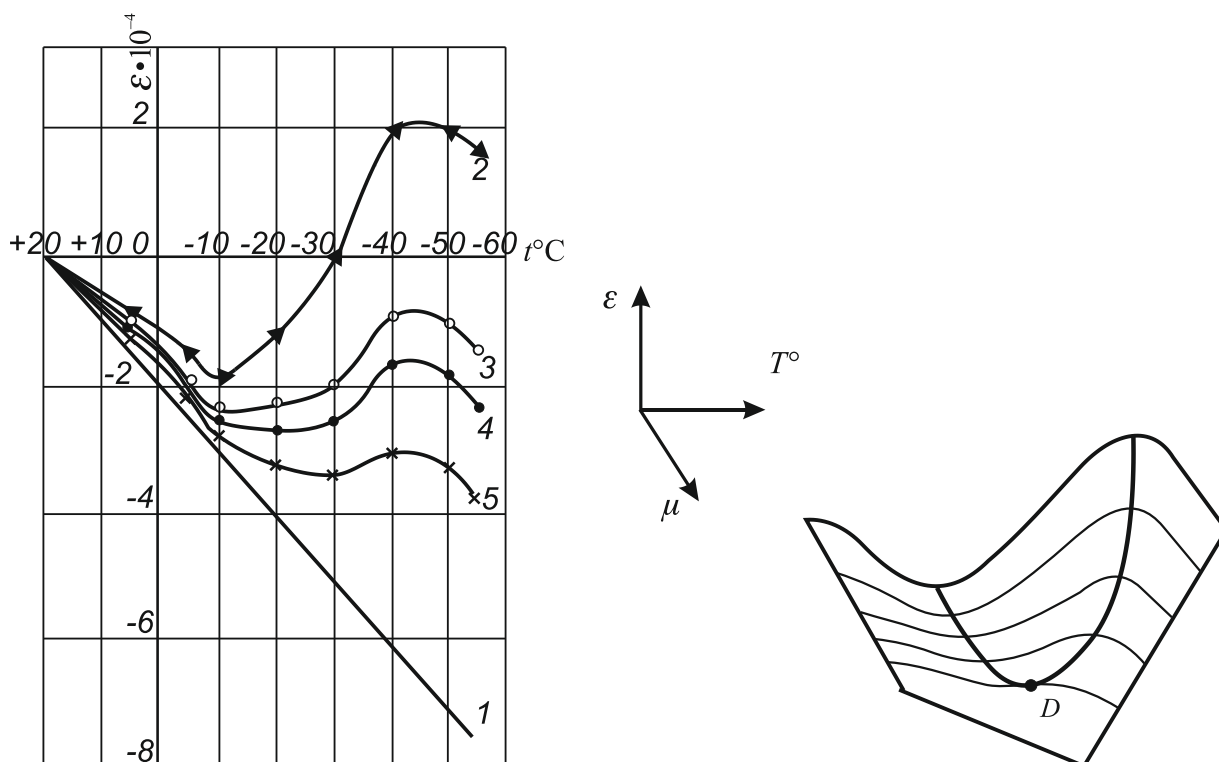
expanding stresses in the pores' walls. Comparison of graphs from [382] with the outlines of the models «fold» revealed their satisfactory convergence (Fig. 8, b). Apparently, the fold point  $D$  corresponds to the degree of water saturation of the sample at which the features of the development of deformation begin to appear when freezing a moist porous material.



**Figure 8.** Curves of thermal deformation of fine-grained concrete: 1 – dry sample, 2 – sample saturated with water during freezing (a); transformation of temperature deformation curves of fine-grained concrete with increasing water saturation  $B$  (the «fold» model) (b)

The results of the study of the influence of the percentage of reinforcement on the temperature deformation of reinforced concrete are also illustrative from the standpoint of the approach involved [383]. Curves 2 and 1 (Fig. 9, a) clearly demonstrate revealed in [384] mismatch between the deformations of water-saturated concrete and reinforcement during freezing: concrete expands, while reinforcement contracts. As can be seen from the figure, the expansion of concrete with decreasing temperature causes significant deformation of reinforcement in reinforced concrete. In this case, the deformation of reinforced concrete samples increases with a decrease in the degree of reinforcement. Thus, the temperature deformations of concrete expansion in reinforced concrete elements due to the presence of reinforcement are approximately 1,5 –2 times less than the free deformations of wet concrete being frozen. Since the complex of the considered dependences is characterized by an increasingly pronounced

*N*-shapedness as the reinforcement coefficient decreases, it is assumed that the model «fold» (Fig. 9, b) is best suited to generalize the observed effects. In this case, the fold point *D* corresponds to the moment of occurrence of significant expanding stresses in the sample. Such a model representation combines individual experimental effects into a certain general regularity. The results obtained can be used for practical implementation.



**Figure 9.** Deformation of reinforcement of reinforced concrete samples depending on the temperature of freezing at various reinforcement coefficients: 1– steel grade St. 3; 2– concrete,  $\mu = 0$ ; 3– the same,  $\mu = 1,13\%$ ; 4– the same,  $\mu = 2,01\%$ ; 5 – the same,  $\mu = 5,24\%$  (a); Transformation of deformation curves of reinforced concrete samples as a function of temperature with increasing reinforcement coefficient (the «fold» model) (b)

It should be noted that catastrophe theory may also be applied in the study of various anomalous effects characteristic not only of technological processes for the formation of various composites, but also for operational practice. In particular, it was proposed to use a topological approach to describe some aspects of the mechanochemical effect of the sign of deformation in stress corrosion phenomena.

As you know, stress corrosion is a process which occurs under conditions when a material experiences external loads and deformation. It should be noted [385] that from the standpoint of mechanochemistry with making allowance for presence of the

initial stress in the surface layer of any hard body in the form of surface tension, any naturally occurring corrosion is stress corrosion. As a result of the application of external forces to a body and its subsequent deformation, an additional surface stress is formed, which significantly affects the speed of the physicochemical dissolution process and, therefore, the rate of destruction of the material (in particular, metal structures). In this regard, finding of the laws of this phenomenon is not only of scientific, but also of practical interest.

It was experimentally established [386] that the applied mechanical stress accelerates corrosion. In order for the effect to be clearly expressed, sufficiently large stresses are needed. This result is most easily achieved through bending samples, in particular metal plates. In the thesis [387], it was for the first time experimentally discovered that the corrosion rate for the concave side of the plate is higher than for the convex side. Since the opposite sides of the curved plate differed in the sign of deformation, this phenomenon was called the mechanochemical effect of the sign of deformation in the phenomena of corrosion. It should be noted that for the first time the mechanochemical effect of the sign of deformation was recorded [388] in experiments on the dissolution of curved plates of single-crystal calcium chloride. In [387], it was also established that over time, the deformation sign effect reverses.

As follows from [385], the mechanochemical effect of the sign of deformation is inherent not only in stress corrosion processes, but also to any solid-body surface reactions. Thus, the effects discovered in [387] can be interpreted as universal and obeying a limited number of laws of nonlinear development of complex systems.

In connection with the above, the purpose of this research is to establish the regular patterns of the development of the processes of metals corrosion under stress. The research program provides for solving problems associated with the description and analysis of the phenomena, in which an increase in the influence leads to a qualitatively different behavior of the system.

Some aspects of the mechanochemical effect of the sign of deformation in the phenomena of stress corrosion are proposed [364] to be interpreted from the standpoint of synergetics [366–368] and catastrophe theory [369]. In particular, it is assumed that

a steel plate placed in an aggressive environment and subjected to additional force is recommended to be interpreted as a synergistic system, since within the framework of this approach, much attention is paid [366–367] to the understanding of the fundamental significance of symmetry and violation of symmetry. In this aspect, the violation of symmetry (i.e., the manifestation of internal differentiation between different parts of the system or between the system and its environment) embodies one of the first preconditions of complex behavior and is accompanied by the emergence of new properties.

In turn, various symmetry violations (including spatial symmetry) are taken into account [367, 369] in the structure of standard models – catastrophes: canonical equations contain a term playing the role of a «symmetry violator» or the imperfection parameter, which is geometrically represented by the asymmetric bifurcation diagram. According to catastrophe theory, a «ruffle» type catastrophe corresponds to such an evolutionary picture. In accordance with this theory, whatever character the system imperfections may have, while it in the absence of imperfections is described in canonical form by means of a function:

$$V_c(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}c_2x^2, \quad (1)$$

then, if imperfections are available, by the function:

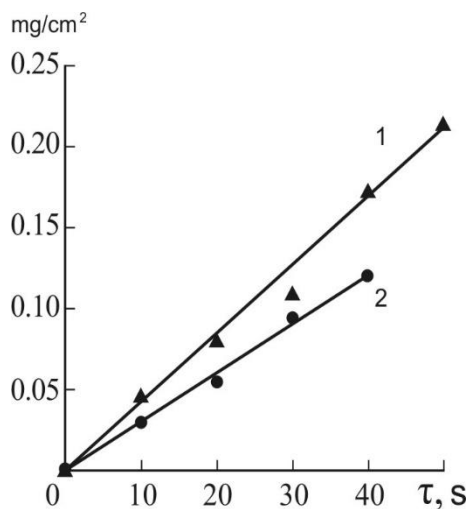
$$V_c(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}c_2x^2 + c_1x. \quad (2)$$

A «trident»-type graph which is of frequent occurrence in bifurcation theory corresponds to the «perfect» system (1). The geometry of this diagram regulates the absence of catastrophic jumps, while in system (2) they necessarily occur when moving from one stable branch to another with increasing control parameter  $c_2$ . In this case, parameter  $c_1$  is interpreted as initial imperfection. It should be noted that not only various defects (structural, geometric, etc.) are permissible to be considered as imperfections, but also the effects of external fields.

In light of the foregoing, it seems possible to use the above approaches in describing and analyzing both the previously indicated effect of deformation sign (Fig.10) and the case of its reversal over time (Fig.11).

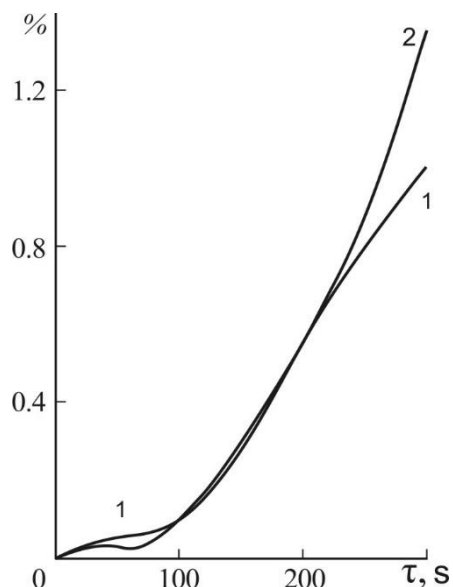


For a more complete picture of the representation of the process under study at short time periods (Fig.10), two variables (control variables in terms of catastrophe theory) are additionally introduced: the load  $P$  on the sample and deformation  $\varepsilon$  of the sample (in [387] these parameters are constant). Accordingly, the mass loss of the sample (%) is interpreted in accepted terminology as a state parameter.



**Figure 10**

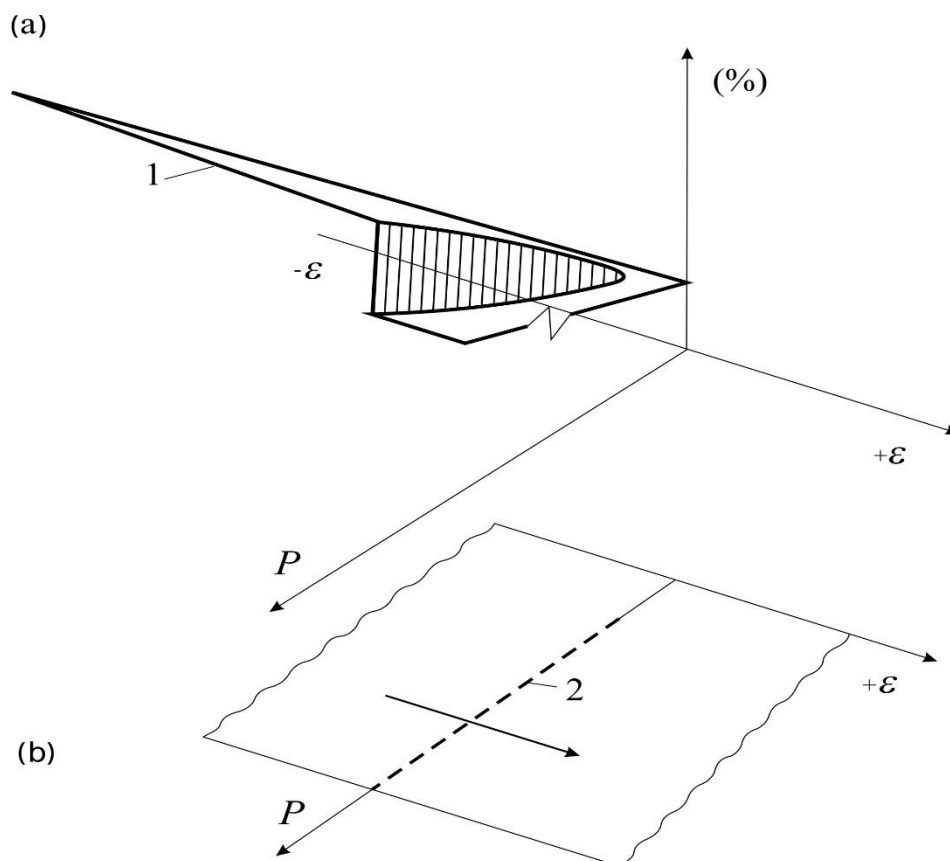
**Figure 10.** Dependence of sample mass decrease per a surface unit (in  $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) on the time  $\tau$  for the concave (1) and convex (2) sides of a curved steel plate in a 35% hydrochloric acid solution. The slope of the lines represents the corrosion rate



**Figure 11**

**Figure 11.** Inversion of the deformation sign. Curves of dependence of the sample mass loss (%) on the time  $\tau$  for the concave (1) and convex (2) sides of a curved steel plate in a 35% hydrochloric acid solution

Catastrophe theory rigorously proves that the only type of model surface in such systems with one state parameter and two control parameters is «ruffle» (Fig. 12). Qualitatively different system behavior is determined by various combinations of control parameters. In the case under consideration, the parameter  $P$  is called splitting parameter, since when its critical value is exceeded, the model surface splits into two sheets, i.e. its variation regulates the very probability of ambiguity of the dependence (%) on the sign  $\varepsilon$  and the occurrence of jumps. The normal parameter  $\varepsilon$  is directed along the normal (perpendicular) to the splitting factor.



**Figure 12.** Topological model of the mechanochemical effect of deformation sign in the phenomena of corrosion under stress (catastrophe «ruffle», Maxwell's principle): (a) – three-dimensional surface in coordinates (%),  $\varepsilon$  and  $P$  (1 – cross section of the model); (b) – projection of the model onto the plane of the control parameters  $\varepsilon$  and  $P$  (2 – Maxwell's set)

An analysis of the scheme of distribution of deformations of a curved steel plate and curves of the dependence of the weight loss of the sample for its concave and convex sides in a 35% solution of hydrochloric acid at short time periods revealed [387], that the effect under consideration may be satisfactorily described by a model which geometry obeys the Maxwell's principle. In this case, a situation [367, 369] occurs, similar to the formation of a shock wave (gap) or phase transition of the first order in the areas of coexistence of different phases. In the absence of an external load ( $P = 0$ ), the mass loss (%) is the same for the opposite sides of the sample. After passing through some value  $P_{cr}$  a manifestation of the deformation sign effect begins, which increases as the load increases. The structure of the model is designed with consideration to the fact that the dissolution rate is higher for the concave side than for the convex side. The upper sheet of the assembly corresponds to the mechanochemical

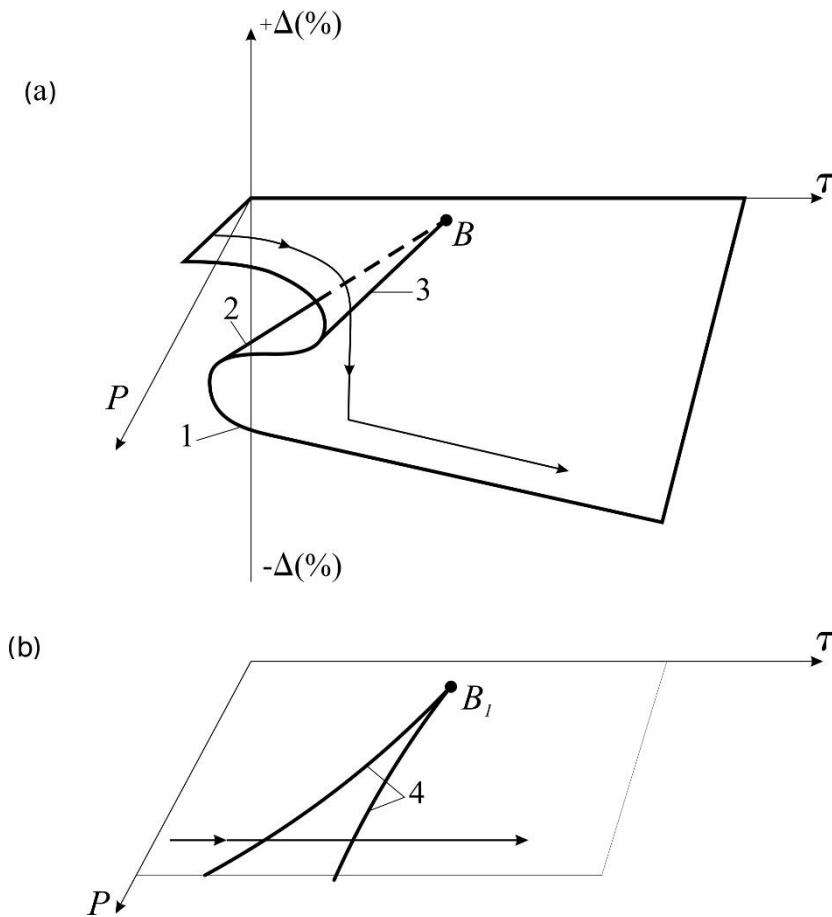
dissolution effect for the compressed side of the curved plate, and the lower sheet – for the stretched side.

The position of the topological model in Figure 12 (a) at an angle to the axis (%) illustrates the well-known fact of acceleration of corrosion under stress, regardless of the sign of deformation [387]. Thus, all the points of the model surface are above the value of the parameter of state in the absence of external influence. For better visualization of the image of the quality situation being observed, the bottom sheet of the assembly is conditionally torn off.

The projection of the flat sector of manifold of the catastrophe «ruffle» onto the plane of control parameters is the so-called Maxwell's set (dashed line in Figure 12). According to this bifurcation scheme, movement from one sheet to another occurs whenever the control parameter  $\varepsilon$  crosses the set (structure of the shock wave), i.e. changes its sign to the opposite.

Thus, deformation of the sample  $\varepsilon$  in this case should be interpreted as the initial imperfection with making allowance for presence in the initial (undistorted) state of surface tension which is added to the applied stress when the plate is stretched and subtracted from it when the plate is compressed. In other words, this symmetry-breaking single control parameter of geometric imperfection is adequate to the balance of all stresses in a bent sample. Consequently, the effect of the sign of deformation in the phenomena of corrosion under stress may be interpreted (in the terminology of the involved theory) as sensitivity to imperfection.

To simulate the reversal of the deformation sign effect (Fig.11) it also seems appropriate to use a catastrophe of the «ruffle» type, but under condition of observing the principle of maximum delay (Fig.13). According to this scenario, the system jumps into another state only when it has no other choice.



**Figure 13.** Topological model of reversing the effect of the deformation sign (catastrophe «ruffle», the principle of maximum delay): (a) – three-dimensional surface in the coordinates  $\Delta(\%)$ ,  $\tau$  and  $P$  (1 – cross section of the model; 2 and 3 – fold lines;  $B$  – assembly point); (b) – projection of the model onto the plane of the control parameters  $\tau$  and  $P$  (4 – bifurcation curve, i.e. bifurcation set;  $B_1$  – bifurcation point)

The investigated phenomenon is proposed to be described using two control parameters:  $P$  (as in the first case) and the time  $\tau$ . As the state parameter, the difference in mass loss  $\Delta(\%)$  of the concave and convex sides of the curved sample was chosen:

$$\begin{aligned} \text{if } (\%)_{\text{concave}} > (\%)_{\text{convex}}, \quad \text{then } (\%)_{\text{concave}} - (\%)_{\text{convex}} &= + \Delta(\%); \\ \text{if } (\%)_{\text{concave}} < (\%)_{\text{convex}}, \quad \text{then } (\%)_{\text{concave}} - (\%)_{\text{convex}} &= - \Delta(\%). \end{aligned}$$

Thus, the top sheet of the surface corresponds to the realization of the effect of the sign of deformation, and the bottom sheet corresponds to the fact of its reversal. Since in the absence of external influence the symmetry of the sides of the plate is not broken, i.e.  $\Delta(\%) = 0$ , thus the corresponding section of the assembly coincides with the axis  $\tau$ .

The most interesting property of this surface is the presence of two fold lines starting at the so-called assembly point  $B$  which form a bifurcation curve with a tip at

point  $B_1$  on the plane of the control parameters  $\tau$  and  $P$  (Fig.13). These points correspond to the  $P_{cr}$  value (in presence of the time coordinate), which, if reached, after some time [387] causes occurrence of cracks, which initiate the phenomenon of reversal of the deformation sign effect. It should be noted that when constructing the topological model, the acceleration of the onset of crack formation according to increase in load (i.e., a decrease in withstanding) is to be taken into account.

In the general case, the bifurcation curve divides the control space into areas which are adequate to the various modes of the system functioning. Qualitative changes in its behavior occur only when the «trajectory», formed by a combination of control parameters, leaves the region inside this curve. It is in such a situation the state parameter  $\Delta$  (%) jumps.

Qualitative features of behavior (signs of catastrophe) of the under study make it possible to simulate the general picture of the ongoing mechanochemical processes. If the sample mass loss (%) is presented as a function of two properly selected control parameters, then gap changes in the state of the system under study are described quite clearly with the help of a catastrophe of the «ruffle» type. In particular, the interpretation of the effect of the sign of deformation as sensitivity to imperfection does not contradict the provisions of mechanochemistry. In addition, expanding the scope of the experiment (due to the directed variation of the qualitative and quantitative composition of the aggressive environment, the type and value of external influences, etc.) will make it possible to use synergetic ideas for further research of these nontrivial effects, which have been first discovered in laboratory systems [387].

Thus, the experimentally discovered regularities considered above, despite diversity of types of control parameters, may be described from a single point of view and in a single topological scheme.

According to Poston and Stewart [369], the catastrophe theory approach should be seen as predicting what would be useful to look for, rather than what should certainly be seen. At present, only experiment may serve for determining which aspects of the considered phenomena may be effectively described using this approach, and which may not.

In the future, the use of this approach would be expedient to be extended to a wider range of problems in building materials science related to the variety of phenomena which have not yet been studied enough.

## SECTION 12. MECHANICAL ENGINEERING

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.12.1

### 12.1 Simulation of vibration resistance of a tool holder with dynamic vibration damper

Accuracy of high-speed cutting processes is largely limited by the level of vibration of the rotating tool holder, caused by the irreducible dynamic imbalance of the oscillating system [389, 390, 391]. Laboratory tests of a patented design of a dynamic vibration damper (DVD) based on a flywheel with a built-in ball friction multiplier (BFM) showed the effectiveness of controlling the amplitude-frequency characteristics (AFC) of the oscillatory system in a wide range of values of the mandrel rotation speed and the BFM gear ratio [392, 393]. The effect is due to the known quadratic function of the reduced moment of inertia of the flywheel on its rotation speed, as well as the dissipative properties of the flywheel. No less significant is the effect on the accuracy of high-speed grinding of the rigidity of the supports, spindle, tool wear, as well as the influence of gyroscopic forces [391].

The purpose of the study is to simulate forced vibrations of a tool holder with DVD in a wide range of angular velocities of the flywheel to verify the possibility of controlling the vibration resistance of the system.

As a calculation model, the oscillatory system “rotor-DVD” in the form of a rigid rotor on elastic supports *A* and *B* is considered (in Fig. 1). The beginning of the fixed coordinate system  $X_0Y_0Z_0$  is taken to be point  $A_0$  – the left support of the rotor in the equilibrium position. The beginning of the moving coordinate system  $X_1Y_1Z_1$  is taken to be point *C* - the center of mass of the system (in the equilibrium position - point  $C_0$ ). It is assumed that the coordinate system  $CX_1Y_1Z_1$  moves translationally together with the center of mass of the “rotor-DVD” system relative to the stationary system  $A_0X_0Y_0Z_0$ . At point *C* there is a coordinate system  $CXYZ$ , rotating together with the rotor around this point (in Fig. 1).

The rigidities of the supports  $c_1, c_2$ , located at a distance  $L$ , are assumed to be the same in all directions of linear elastic deformations under the action of an external load

in a plane parallel to the fixed system  $X_0A_0Y_0$ . The coordinates of the supports are taken as generalized coordinates:  $x_A=x_1$ ,  $y_A=y_1$ ;  $x_B=x_2$ ,  $y_B=y_2$ . The Euler-Krylov angles are designated  $\alpha$  and  $\beta$ . The projections of point A are the points  $A_x$  and  $A_y$ , the projections of point B are the points  $B_x$  and  $B_y$ . Line  $A_0B_0$  corresponds to the position of elastic static equilibrium of the rotor axis. The center of mass of the system (point  $C_0$ ) is shifted relative to the rotor axis by the amount of eccentricity  $e$ , the main axis of inertia of the rotor  $C_1Z_c$  forms an angle  $\delta$  with the geometric axis  $C_0Z$  (axis of rotation, in Fig. 2).

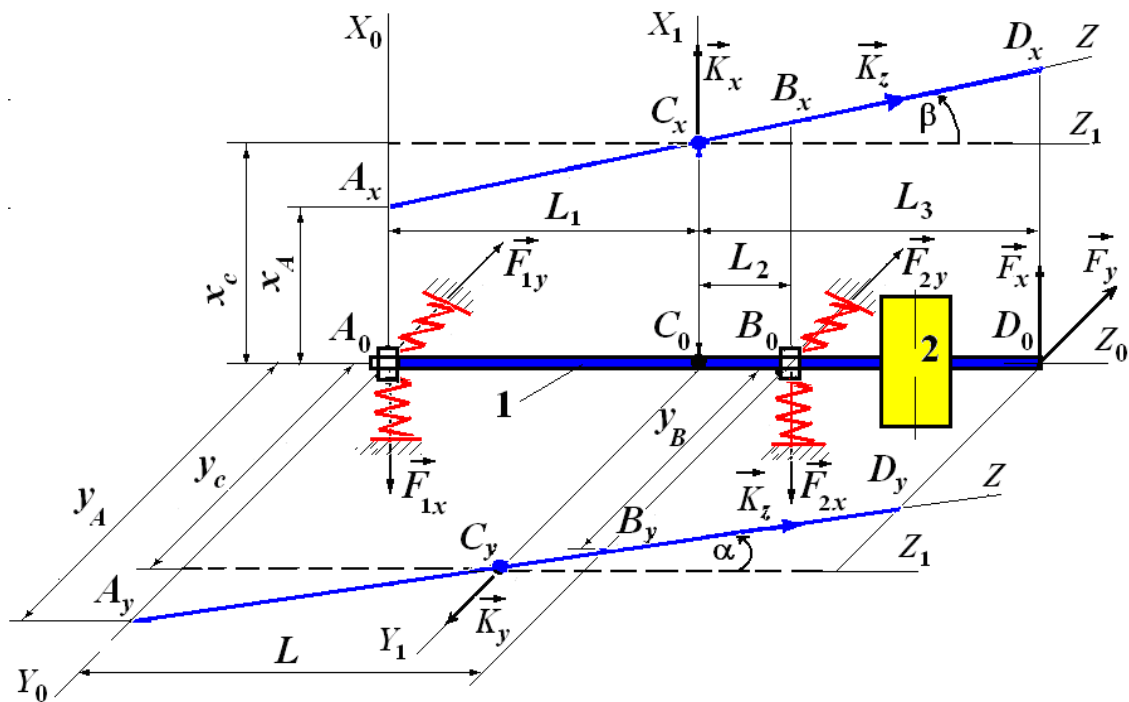


Figure 1. Design diagram of the oscillatory system (1 – rotor; 2 – DVD)

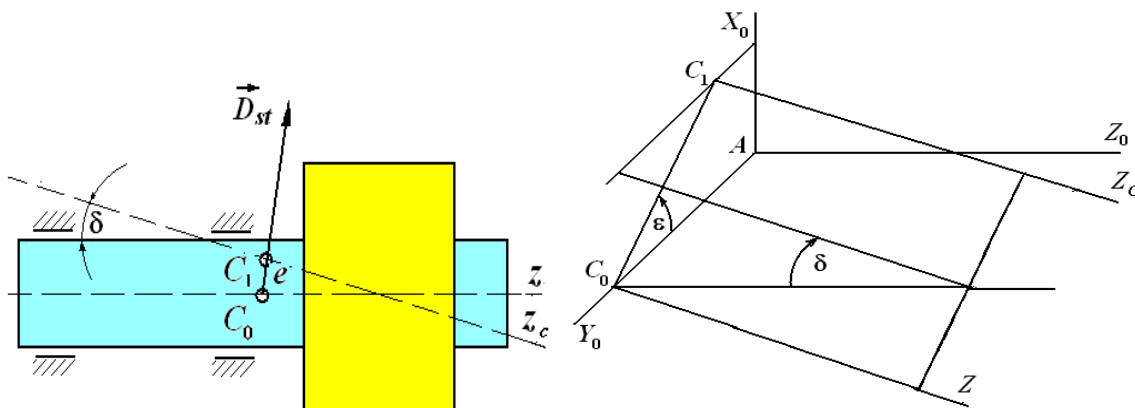


Figure 2. Scheme of dynamic imbalance of the “rotor-DVD” system



Static imbalance of the rotor is characterized by the value  $D_{st} = me$ , and dynamic (torque) imbalance is that the axes  $C_0Z$  and  $C_1Z_c$  do not intersect at point  $C_0$  at  $e \neq 0$ . The planes of location of the  $C_0Z$  axis and the center of mass of the system, as well as the  $C_0Z$  and  $C_1Z_c$  axes, form a dihedral angle  $\varepsilon$ . Point  $D_0$  corresponds to the installation location of the cutting tool and has projections  $D_x$  and  $D_y$ .

Oscillations along the  $C_0Z$  axis are not taken into account. Coordinates of the center of mass of the “rotor-DVD” system, taking into account eccentricity:

$$\left. \begin{aligned} x_c &= C_0C_x + e \sin \omega t = x_1 + L_1 \sin \beta + e \sin \omega t = (L_2x_1 + L_1x_2)/L + e \sin \omega t; \\ y_c &= C_0C_y + e \cos \omega t = y_1 - L_1 \sin \alpha + e \cos \omega t = (L_2y_1 + L_1y_2)/L + e \cos \omega t. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Angles  $\alpha_1$  and  $\beta_1$  between the  $C_0Z$  axis and the projections of the main central axis of inertia of the rotor, respectively, on the planes  $C_0Y_1X_1$  and  $C_0X_1Z_1$ :

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha + \delta \sin(\omega t - \varepsilon) = (y_1 - y_2)/L + \delta \sin(\omega t - \varepsilon); \\ \beta_1 &= \beta + \delta \cos(\omega t - \varepsilon) = (x_2 - x_1)/L + \delta \cos(\omega t - \varepsilon). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

The external harmonic disturbance is given by the equation

$$F_x = F_0 \sin \omega t; \quad F_y = F_0 \cos \omega t. \quad (3)$$

The moment of inertia of DVD relative to any axis perpendicular to  $A_0B_0$  and passing through point  $C_0$  is designated  $J_e$ . Projections of kinetic moment on the  $X, Y, Z$  axes  $Z$  (in Fig. 1):

$$K_x = J_e \dot{\alpha}_1 + K_z \beta_1; \quad K_y = J_e \dot{\beta}_1 - K_z \alpha_1; \quad K_z = J_z u^2 \omega. \quad (4)$$

Based on the theorem on the motion of the center of mass of the system and the theorem on the change in kinetic momentum, it was obtained

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x}_c &= -F_{1x} - F_{2x}; \quad dK_x/dt = -F_{1y}L_1 + F_{2y}L_2; \\ m\ddot{y}_c &= -F_{1y} - F_{2y}; \quad dK_y/dt = -F_{1x}L_1 + F_{2x}L_2. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

After substituting dependencies (1) – (4) into (5), a system of equations for oscillations of an unbalanced rotor with DVD is obtained:

$$\left. \begin{aligned}
 m(L_2\ddot{x}_1 + L_1\ddot{x}_2) / L + c_1x_1 + c_2x_2 &= me\omega^2 \sin \omega t; \\
 \frac{m}{L}(L_2\ddot{y}_1 + L_1\ddot{y}_2) + c_1y_1 + c_2y_2 &= me\omega^2 \cos \omega t; \\
 J_e(\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2) / L + J_z u^2 \omega(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) / L + c_1L_1y_1 - c_2L_2y_2 &= (J_e + J_z u^2)\delta\omega^2 \sin(\omega t - \varepsilon); \\
 J_e(\ddot{x}_2 - \ddot{x}_1) / L - J_z u^2 \omega(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) / L - c_1L_1x_1 + c_2L_2x_2 &= (J_e + J_z u^2)\delta\omega^2 \cos(\omega t - \varepsilon)
 \end{aligned} \right\}.$$

(6)

Partial solutions of the system of equations (6) have the form:

$$\left. \begin{aligned}
 x_1 &= A_1 \sin \omega t + B_1 \cos \omega t; & y_1 &= A_2 \cos \omega t + B_2 \sin \omega t; \\
 x_2 &= A_3 \sin \omega t + B_3 \cos \omega t; & y_2 &= A_4 \cos \omega t + B_4 \sin \omega t.
 \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

As a result of substituting equations (7) into (6), we obtained:

$$\left. \begin{aligned}
 (c_1 - mL_2\omega^2/L)A_1 + c_2 - (mL_1\omega^2/L)A_3 &= me\omega^2; \\
 (c_1 - mL_2\omega^2/L)A_2 + (c_2 - mL_1\omega^2/L)A_4 &= me\omega^2; \\
 (c_1L_1 - J_e\omega^2/L)A_2 - (c_2L_2 - J_e\omega^2/L)A_4 + J_z u^2 \omega^2 (A_3 - A_1) / L &= -(J_e + J_z u^2)\delta\omega^2 \sin \varepsilon; \\
 -(c_1L_1 - J_e\omega^2/L)A_1 + (c_2L_2 - J_e\omega^2/L)A_3 + J_z u^2 \omega^2 (A_2 - A_4) / L &= (J_e + J_z u^2)\delta\omega^2 \sin \varepsilon,
 \end{aligned} \right\}$$

(8)

$$\left. \begin{aligned}
 \left( c_1 - \frac{mL_2}{L} \omega^2 \right) B_1 + \left( c_2 - \frac{mL_1}{L} \omega^2 \right) B_3 &= 0; \\
 (c_1 - mL_2\omega^2/L)B_2 + (c_2 - mL_1\omega^2/L)B_4 &= 0; \\
 (c_1L_1 - J_e\omega^2/L)B_2 - (c_2L_2 - J_e\omega^2/L)B_4 + J_z u^2 \omega^2 (B_3 - B_1) / L &= (J_e + J_z u^2)\delta\omega^2 \cos \varepsilon; \\
 -(c_1L_1 - J_e\omega^2/L)B_1 + (c_2L_2 - J_e\omega^2/L)B_3 - J_z u^2 \omega^2 (B_2 - B_4) / L &= (J_e + J_z u^2)\delta\omega^2 \cos \varepsilon.
 \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

To simplify the writing of equations (8), (9), the following notation is introduced:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= c_1 - mL_2\omega^2/L; & a_2 &= c_2 - mL_1\omega^2/L; & a_3 &= c_1L_1 - J_e\omega^2/L; \\
 a_4 &= c_2L_2 - J_e\omega^2/L; & a_5 &= J_z u^2 \omega^2/L; & b_1 &= me\omega^2; & b_2 &= (J_e + J_z u^2)\delta\omega^2.
 \end{aligned}$$

Received:

$$\left. \begin{array}{l} a_1 B_1 + a_2 B_3 = 0; \\ a_1 B_2 + a_2 B_4 = 0; \\ a_3 B_2 - a_4 B_4 + a_5 (B_3 - B_1) = b_2 \cos \varepsilon; \\ -a_3 B_1 + a_4 B_3 + a_5 (B_2 - B_4) = b_2 \cos \varepsilon, \end{array} \right\} \begin{array}{l} a_1 A_1 + a_2 A_3 = b_1; \\ a_1 A_2 + a_2 A_4 = b_1; \\ a_3 A_2 - a_4 A_4 + a_5 (A_3 - A_1) = -b_2 \sin \varepsilon; \\ -a_3 A_1 + a_4 A_3 + a_5 (A_2 - A_4) = b_2 \sin \varepsilon. \end{array} \quad (10)$$

As a result of adding the first two equations of each of the systems (10) and subtracting the last two equations, we obtained

$$\left. \begin{array}{l} \left( \begin{array}{cc} a_1 & a_2 \\ (a_3 - a_5) & -(a_4 - a_5) \end{array} \right) \cdot \left( \begin{array}{c} A_1 + A_2 \\ A_3 + A_4 \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} 2b_1 \\ -2b_2 \sin \varepsilon \end{array} \right); \\ \left( \begin{array}{cc} a_1 & a_2 \\ -(a_3 + a_5) & (a_4 + a_5) \end{array} \right) \cdot \left( \begin{array}{c} A_1 - A_2 \\ A_3 - A_4 \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array} \right), \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{l} \left( \begin{array}{cc} a_1 & a_2 \\ (a_3 - a_5) & -(a_4 - a_5) \end{array} \right) \cdot \left( \begin{array}{c} B_1 + B_2 \\ B_3 + B_4 \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array} \right); \\ \left( \begin{array}{cc} a_1 & a_2 \\ -(a_3 + a_5) & (a_4 + a_5) \end{array} \right) \cdot \left( \begin{array}{c} B_1 - B_2 \\ B_3 - B_4 \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} 0 \\ 2b_2 \cos \varepsilon \end{array} \right). \end{array} \right\} \quad (12)$$

The solutions of the resulting systems have the form:

$$A_1 + A_2 = \frac{\begin{vmatrix} 2b_1 & a_2 \\ -2b_2 \sin \varepsilon & -(a_4 - a_5) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ (a_3 - a_5) & -(a_4 - a_5) \end{vmatrix}} = \frac{-2b_1(a_4 - a_5) + 2a_2 b_2 \sin \varepsilon}{-a_1(a_4 - a_5) - a_2(a_3 - a_5)};$$

$$A_3 + A_4 = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & 2b_1 \\ (a_3 - a_5) & -2b_2 \sin \varepsilon \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ (a_3 - a_5) & -(a_4 - a_5) \end{vmatrix}} = \frac{-2a_1 b_2 \sin \varepsilon - 2b_1(a_3 - a_5)}{-a_1(a_4 - a_5) - a_2(a_3 - a_5)};$$

$$A_1 - A_2 = 0; \quad A_3 - A_4 = 0. \quad B_1 + B_2 = 0; \quad B_3 + B_4 = 0$$

$$B_1 - B_2 = \frac{\begin{vmatrix} 0 & a_2 \\ 2b_2 \cos \varepsilon & (a_4 + a_5) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ -(a_3 + a_5) & (a_4 + a_5) \end{vmatrix}} = \frac{-2a_2 b_2 \cos \varepsilon}{a_1(a_4 + a_5) + a_2(a_3 + a_5)};$$

$$B_3 - B_4 = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & 0 \\ -(a_3 - a_5) & 2b_2 \cos \varepsilon \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ -(a_3 + a_5) & (a_4 + a_5) \end{vmatrix}} = \frac{2a_1 b_2 \cos \varepsilon}{a_1(a_4 + a_5) + a_2(a_3 + a_5)} \quad (13)$$

The last two equations of system (13) have trivial solutions  $A_1 = A_2$ ;  $A_3 = A_4$ ;  $B_1 = -B_2$ ;  $B_3 = -B_4$ , the denominators correspond to frequency equations, the roots of which determine the critical angular velocities of the oscillatory system:

$$\left. \begin{aligned} f_1(\omega) &= a_1(a_4 - a_5) + a_2(a_3 - a_5) = 0; \\ f_2(\omega) &= a_1(a_4 + a_5) + a_2(a_3 + a_5) = 0, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Solutions of system (14) have the form

$$(15) \quad \left. \begin{aligned} A_1 = A_2 &= \frac{b_1(a_4 - a_5) - a_2 b_2 \sin \varepsilon}{a_1(a_4 - a_5) + a_2(a_3 - a_5)}; \\ A_3 = A_4 &= \frac{a_1 b_2 \sin \varepsilon + b_1(a_3 - a_5)}{a_1(a_4 - a_5) + a_2(a_3 - a_5)} \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} B_1 = -B_2 &= \frac{-a_2 b_2 \cos \varepsilon}{a_1(a_4 + a_5) + a_2(a_3 + a_5)}; \\ B_3 = -B_4 &= \frac{a_1 b_2 \cos \varepsilon}{a_1(a_4 + a_5) + a_2(a_3 + a_5)}. \end{aligned} \right\}.$$

Equations of motion (7) are presented in amplitude form

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= r_A \sin(\omega t - \varphi_A); & y_1 &= r_A \cos(\omega t - \varphi_A); \\ x_2 &= r_B \sin(\omega t - \varphi_B); & y_2 &= r_B \cos(\omega t - \varphi_B). \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Где  $r_A, r_B, \varphi_A, \varphi_B$  – respectively, the elastic deformation modules and vibration phases in supports  $A$  and  $B$ .

Equating the right-hand sides of equations (7) and (16), obtained

$$\left. \begin{aligned} r_A &= \sqrt{A_1^2 + B_1^2}; & r_B &= \sqrt{A_3^2 + B_3^2}; \\ \operatorname{tg} \varphi_A &= -B_1/A_1; & \operatorname{tg} \varphi_B &= -B_3/A_3. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

From formulas (17) it follows that the oscillations of an unbalanced rotor with a DVD correspond to its “direct” precession with angular velocity  $\omega$ . Installed. that the imbalance of the oscillatory system “rotor-DVD” does not caused oscillations associated with “reverse” precession.

The equations of motion of point  $D$  of the cutting tool edge are presented as the sum of two harmonic functions of the same frequency:

$$\left. \begin{aligned} x_D &= x_1 + (L_1 + L_3)(x_2 - x_1)/L = \\ &= [1 - (L_1 + L_3)/L]r_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + (L_1 + L_3)r_2 \sin(\omega t - \varphi_2)/L; \\ y_D &= y_1 - (L_1 + L_3)(y_1 - y_2)/L = \\ &= [1 - (L_1 + L_3)/L]r_1 \cos(\omega t - \varphi_1) + (L_1 + L_3)r_2 \cos(\omega t - \varphi_2)/L. \end{aligned} \right\}$$

Amplitude of rotor oscillations at point  $D$

$$a_D = \sqrt{x_D^2 + y_D^2} = \sqrt{(1 - \psi)^2 r_1^2 + \xi \psi^2 r_2^2 + 2(1 - \psi)\psi r_A r_B \cos(\varphi_B - \varphi_A)},$$

$$\psi = (L_1 + L_3)/L.$$

For numerical modeling of the characteristics of forced vibrations of an unbalanced mandrel with DVD, the following values of the parameters of the calculation model were adopted:  $L=0,5$  m;  $L_1=0,48$  m;  $L_2=0,02$  m;  $L_3=0,32$  m;  $c_1=c_2=5 \cdot 10^6$  N/m;  $m=5,0$  kg;  $e=0,001 \dots 0,01$   $\mu\text{m}$ ;  $J_e=0,15$   $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $J_z=0,031$   $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $u=1 \dots 10$ ;  $\omega=0 \dots 2000$   $\text{s}^{-1}$ ;  $D_{st}=0,0075 \dots 0,075$   $\text{г} \cdot \text{мм}$ ;  $\delta=0,001$  рад;  $\varepsilon=0,001$  рад;  $F_0=50$  N [394, 395].

An analysis of the calculated functions of the oscillation amplitude at point  $D$  of a statically unbalanced rotor showed that the critical rotation speed of the rotor without DVD corresponds to a value of 250  $\text{s}^{-1}$ , while the amplitude of oscillations of the tool cutting edge reaches 15  $\mu\text{m}$  (in Fig. 3,  $a$ ). As a result of the influence of the DVD at a gear ratio  $u=10$ , the amplitude of oscillations at the critical speed of rotation of the mandrel is reduced by more than 20 times. At the same time, in the region of critical frequencies, the amplitudes of rotor oscillations in the sections on the left and right supports practically coincide, and the values of the critical frequencies shift towards reducing the oscillation amplitude by 12% [394, 395].

When the system is statically balanced and the imbalance  $D_{st}$  is reduced by 10 times (from 0.075  $\text{г} \cdot \text{мм}$  to 0.0075  $\text{г} \cdot \text{мм}$ ), a decrease in the amplitude of rotor oscillations by 15 times or more is observed. A further reduction in the amplitude of rotor oscillations is achieved when the DVD is turned on.

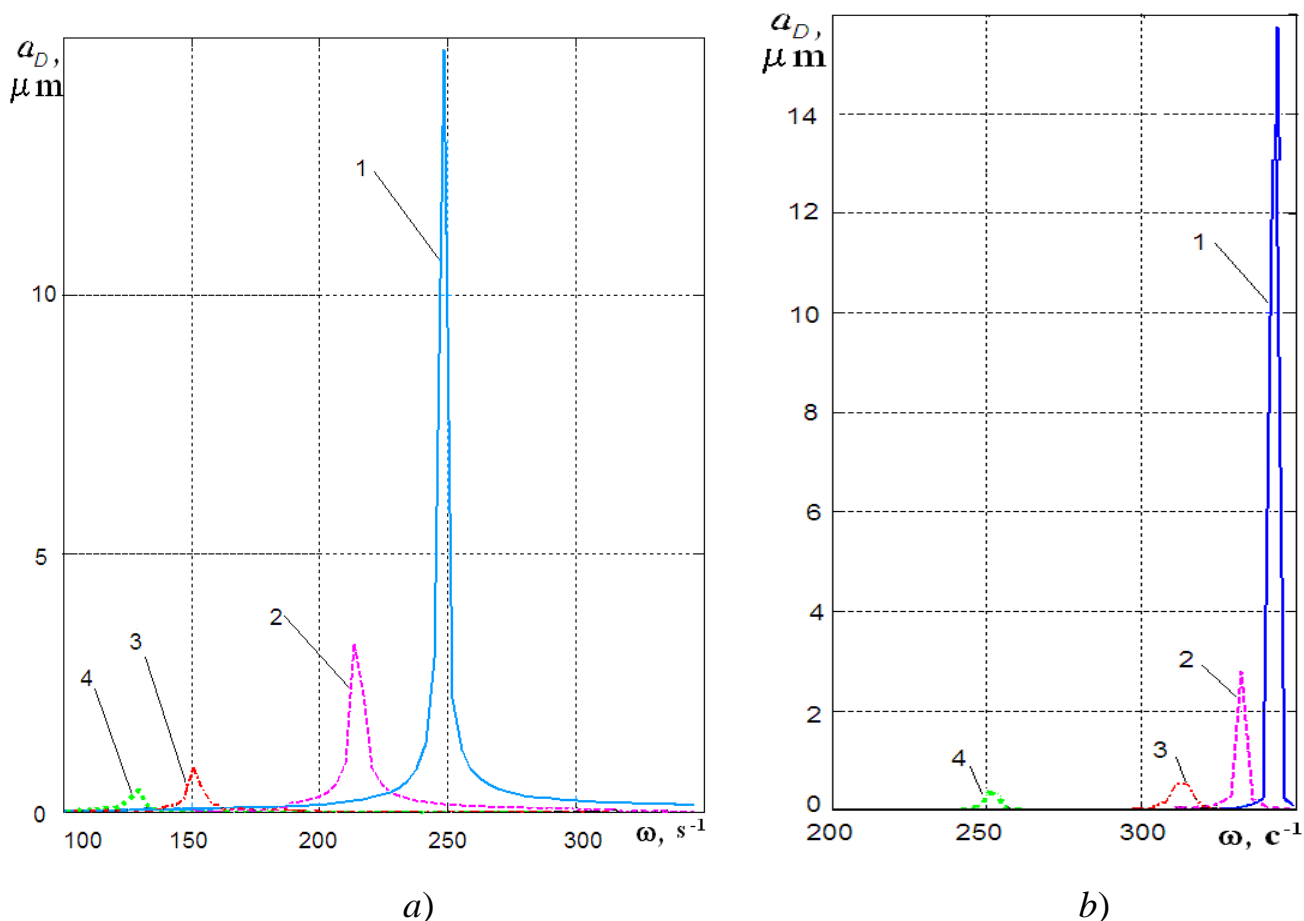


Figure 3. Frequency response graphs for point  $D$ :

$a) D_{st}=0,075 \text{ g}\cdot\text{mm}$  и  $\delta=0$ ;  $b) D_{st}=0$  и  $\delta=0,001 \text{ rad}$

(the numbering of the curves corresponds to: 1 –  $u=1$ ; 2 –  $u=4$ ; 3 –  $u=6$ ; 4 –  $u=10$ )

To model the amplitude function of elastic vibrations of the rotor in characteristic sections, taking into account dynamic imbalance, the vibration equations of the tool cutting edge (point  $D$ ) are presented in amplitude form [396].

$$\left. \begin{aligned} x_D &= x_1 + (L_1 + L_3)(x_2 - x_1)/L = \\ &= [1 - (L_1 + L_3)/L]r_A \sin(\omega t - \varphi_A) + (L_1 + L_3)r_B \sin(\omega t - \varphi_B)/L; \\ y_D &= y_1 - (L_1 + L_3)(y_1 - y_2)/L = \\ &= [1 - (L_1 + L_3)/L]r_A \cos(\omega t - \varphi_A) + (L_1 + L_3)r_B \cos(\omega t - \varphi_B)/L. \end{aligned} \right\}$$

It has been established that for a dynamically unbalanced mandrel, the use of DVD ensures a reduction in the amplitude of forced vibrations of the tool cutting edge by more than 50 times (in Fig. 3,  $b$ ).

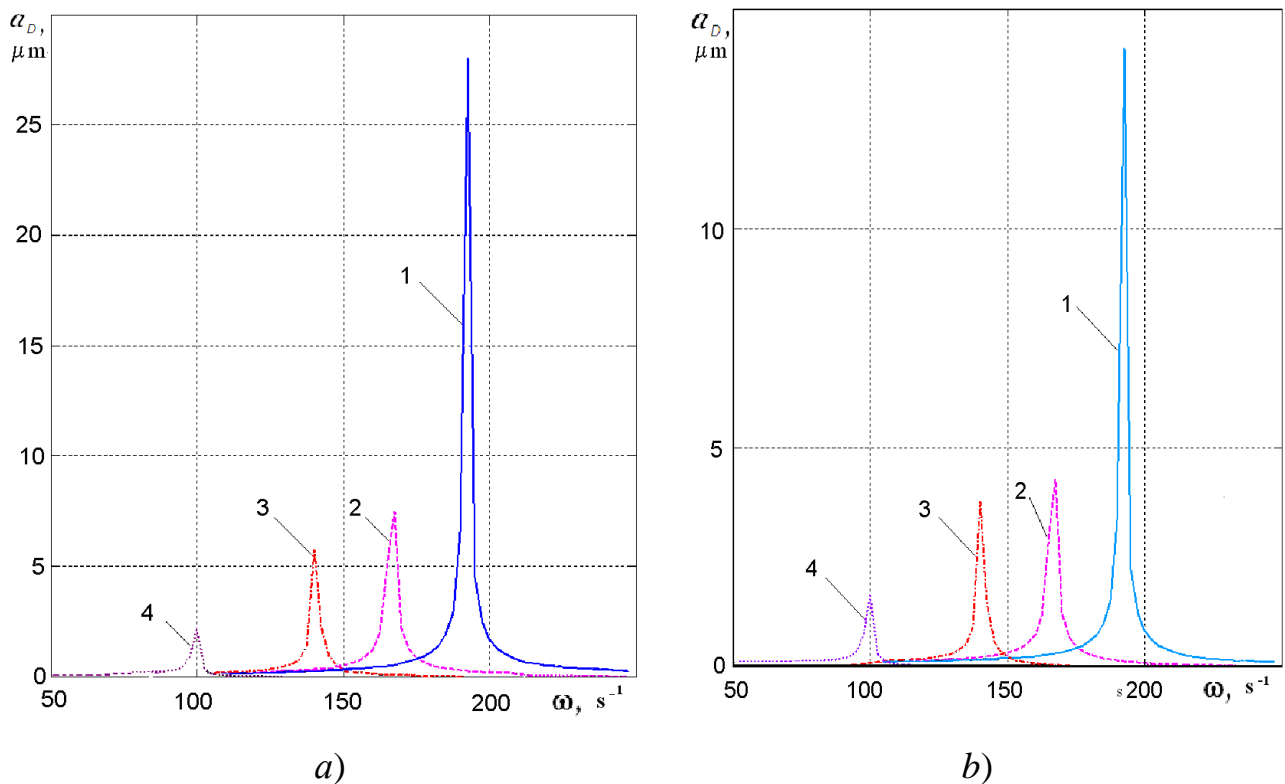


Figure 4. Frequency response graphs at point  $D$ :

$a) D_{st} = 0, \delta = 0$ ;  $b) D_{st} = 0,075 \text{ g}\cdot\text{mm}, \delta = 0,001 \text{ rad}$

(the numbering of the curves corresponds to: 1 –  $u=1$ ; 2 –  $u=4$ ; 3 –  $u=6$ ; 4 –  $u=10$ )

As result of the study, the following conclusions were drawn:

1. For a statically unbalanced toolholder, the use of a DVD with a built-in BFM ensures a reduction in the amplitude of oscillations at the critical rotation speed, for example, at  $u=10$ , by more than 20 times.

2. For a dynamically unbalanced mandrel, the use of a DVD with a built-in BFM ensures a reduction in the amplitude of forced vibrations of the tool cutting edge by more than 50 times [396, 397].

3. Further refinement of the calculated models of forced vibrations of a tool mandrel with an adjustable DVD requires taking into account the influence of dissipation factors in the kinematic bearings of the BFM [398].

4. No less relevant is the study and prediction of the reliability of the DVD, taking into account the heating and wear of the contact surfaces of the ball mill in the limited lubrication mode [399].

## SECTION 13. MECHANICS

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.13.1

### 13.1 Вплив нестационарного навантаження і пружності середовища на динамічну поведінку тришарових оболонкових структур

Досягнення останнього часу в галузі досліджень динаміки композитних оболонкових структур стали результатом розвитку математичного моделювання динамічних процесів, виникаючих в цих структурах і вдосконалення розрахункових методів оцінки ефективності цих процесів. Врахування специфіки і значимості, маючих місце, впливів на такі структури. В останньому випадку недостатньо вирішеними залишаються задачі оцінки взаємодії оболонкових структур з пружним середовищем. Відома відносно незначна кількість публікацій, приурочених цій тематиці [400-402], де приводяться результати оцінки подібного впливу, визначені на основі моделі Вінклера [403]. Являючись відносно простою, ця модель дозволяє характеризувати вплив пружного середовища на досліджувані структури з допомогою лише одного коефіцієнта (коефіцієнта пружної основи).

Зв'язок між реакцією пружного середовища  $\tilde{R}(x, s, t)$  і радіальними переміщеннями точок серединної поверхні оболонки  $u_3(x, s, t)$  у випадку моделі Вінклера має вигляд:

$$\tilde{R}(x, s, t) = C_1 u_3(x, s, t), \quad (1.1)$$

де  $C_1$  – коефіцієнт постелі пружної основи, який характеризує роботу на розтяг - стиск;  $x, s$  – основа та окружна координата серединної поверхні оболонки і  $t$  – часова координата.

У більшості випадків такий підхід забезпечує необхідну точність оцінки визначення впливу пружного середовища на поведінку шаруватих структур [402].

Вимоги до міцності і ваги, що пред'являються до сучасних конструкцій, весь час зростають, а умови їх експлуатації стають більш жорсткими і



потребують забезпечення цілої низки іноді навіть суперечливих вимог. В цій ситуації позитивному розв'язанню задачі визначення впливу пружного середовища при аналізі елементів оболонкової структури в значній мірі сприяє використання зсувної моделі теорії оболонок і стержнів С.П. Тимошенко [404, 405] і варіаційного принципу стаціонарності Гамільтона-Остроградського.

З цих позицій розглядаються тришарові циліндричні елементи оболонки (рис. 1) кругового ( $a=b$ ) і еліптичного ( $a \neq b$ ) перерізу, армовані дискретними ребрами (рис. 1), які знаходяться в безінерційному пружному середовищі і являють собою пружні структури, які складаються з внутрішньої (індекс 1), зовнішньої (індекс 2) несучих оболонок, легкого заповнювача (індекс  $t$ ) і набору дискретних ребер (індекс  $j$ ), жорстко з'єднаних з зазначеними несучими оболонками.

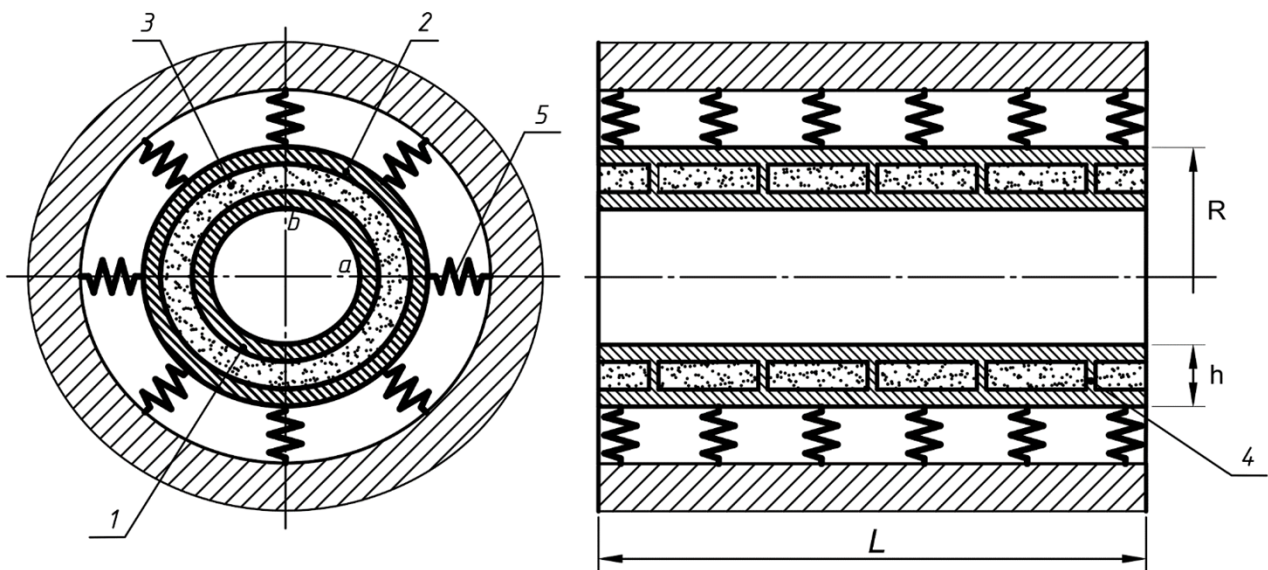


Рисунок 1. Конструкція тришарової циліндричної оболонки кругового та еліптичного перерізу з полімерним заповнювачем армованим ребрами жорсткості:

- 1 – внутрішній шар; 2 – зовнішній шар; 3 – полімерний заповнювач ( $t$ );  
4 – армуючі ребра ( $j$ ); 5 – пружне середовище Вінклера

Елемент кругового перерізу має постійну загальну товщину  $h$  з гладкою серединною поверхнею в ортогональній системі координат  $x, z$ . Координатна лінія  $x$  на серединній поверхні оболонки при  $z = 0$  збігається з осьюовою лінією; координатна лінія  $z$  є прямою, ортогональною до серединної поверхні.

Циліндричну оболонку віднесемо до криволінійної ортогональної системи координат  $(s_1, s_2, z)$ , де  $s_1, s_2, z$  – довжини твірної, напрямної та нормалі до серединної поверхні. Вважається, що величина  $z$  є додатною якщо розглядаємо точку знаходиться з боку опуклості серединної поверхні.

Основа на варіаційному принципі стаціонарності Гамільтона-Остроградського:

$$\int_{t_1}^{t_2} [\delta(\Pi - K) - \delta A] dt = 0 \quad (1.2)$$

де  $\Pi$  – повна потенціальна енергія пружної системи і пружного середовища Вінклера,  $K$  – повна кінетична енергія пружної системи,  $A$  – робота зовнішніх сил,  $t_1$  і  $t_2$  – фіксовані моменти часу, рівняння коливань оболонки кругового перерізу після стандартних перетворень в варіаційному функціоналі набуває вид [405]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_{11}^1}{\partial x} - \frac{1}{R_t} T_{13}^t &= \left( \rho_t h_t + \frac{\rho_t h_t}{3} \right) \frac{\partial^2 u_1^i}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial T_{13}^1}{\partial x} - \frac{T_{11}^1}{R_1} - \frac{1}{R_t h_t} M_{11}^t - \frac{4}{h_t^2} M_3^t + \frac{1}{h_t} \frac{\partial M_{13}^t}{\partial x} + \left(1 + \frac{h_1}{2R_t}\right) P_1 &= \rho_1 h_1 \frac{\partial^2 u_3^1}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial M_{11}^1}{\partial x} - T_{13}^1 + \frac{2h_1}{h_t^2} M_{13}^t &= \rho_1 \frac{h_1^3}{12} \frac{\partial^2 \phi_1^1}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial T_{11}^2}{\partial x} - \frac{T_{13}^t}{R_t} &= \left( \rho_2 h_2 + \frac{\rho_t h_t}{3} \right) \frac{\partial^2 u_1^2}{\partial t^2} \\ \frac{\partial T_{13}^2}{\partial x} - \frac{T_{11}^2}{R_1} - \frac{1}{R_t h_t} M_{11}^t - \frac{4}{h_t^2} M_3^t + \frac{1}{h_t} \frac{\partial M_{13}^2}{\partial x} - C_1 u_3^2 &= \rho_2 h_2 \frac{\partial^2 u_3^2}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial M_{11}^2}{\partial x} - T_{13}^2 + \frac{2h_2}{h_t^2} M_{13}^t &= \rho_2 \frac{h_2^3}{12} \frac{\partial^2 \phi_1^2}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial T_{11}^t}{\partial x} + \frac{1}{R_t} T_{13}^t &= \rho_t h_t \frac{\partial^2 u_0^t}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial M_{11}^t}{\partial x} + \frac{1}{R_t} M_{13}^t &= \rho_t h_t \frac{\partial^2 u_1^t}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial T_{11}^t}{\partial x} + \frac{8}{h_t^2} M_3^t - \frac{1}{R_t} T_{11}^t &= \rho_t h_t \frac{\partial^2 u_3^t}{\partial t^2}; \end{aligned} \quad (1.3)$$

$$[T_{11}^{i\pm}]_j = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{1j}^1}{\partial t^2}, \quad [T_{13}^{i\pm}]_j = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{3j}^1}{\partial t^2}, \quad [M_{11}^{i\pm} \mp h_j T_{11}^{i\pm}]_j = \rho_j I_{kj} \frac{\partial^2 \varphi_{1j}}{\partial t^2}.$$

А при еліптичному перерізі циліндричної структури [406]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_{11}}{\partial s_1} + \frac{\partial S}{\partial s_2} &= \rho h \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} \\ \frac{\partial S}{\partial s_1} + \frac{\partial T_{22}}{\partial s_2} - k_2 T_{23} &= \rho h \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} \\ \frac{\partial T_{13}}{\partial s_1} + \frac{\partial T_{23}}{\partial s_2} - k_2 T_{22} - C_1 u_3 + P_3(s_1, s_2, t) &= \rho h \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} \\ \frac{\partial M_{11}}{\partial s_1} + \frac{\partial H}{\partial s_2} - T_{13} &= \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} \\ \frac{\partial H}{\partial s_1} + \frac{\partial M_{22}}{\partial s_2} - T_{23} &= \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (1.4)$$

В цих рівняннях позначення  $C_1$  – коефіцієнт Вінклера пружної основи.

Приведені системи рівнянь дозволяють описувати динамічну поведінку оболонкових структур кругового і еліптичного перерізу. Складність розв'язання задач з урахуванням дискретності армуючих ребер полімерного заповнювача, наявності в них розривних коефіцієнтів, приводить до створення чисельних алгоритмів які «склеюються» в гладкій області на лініях розривів, розрахунки таких задач дозволяють здійснювати скінченно-елементні комплекси. Тому при розв'язанні таких задач доцільно використовувати скінченно-елементний метод [407].

Обидві оболонки мають близькі по величині показники геометричних і фізико-механічних параметрів несучих шарів, а величини діючого внутрішнього навантаження і пружного зовнішнього середовища є однаковими. В структурі кругового перерізу несучі шари мають однакову товщину і виготовлені із однакового матеріалу. Їх характеристики мають наступні величини:

$$\frac{L}{h_1} = 200; \quad h_1 = h_2 = 0,002 \text{ м}; \quad \frac{R_1}{h_1} = 40; \quad \frac{H_j}{h_1} = 10; \quad F_j = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \quad E_1 = E_2 = E_j = 7 \cdot 10^{10} \text{ Па}; \quad \nu_1^1 = \nu_1^2 = \nu_j = 0.33;$$

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_j = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

В структурі еліптичного перерізу ці параметри відповідають таким значенням  $h = 0,01 \text{ м}; \quad h_1 = h_2 = 0,001; \quad L_1 = 0,4 \text{ м}; \quad E_1 = E_2 = E_j = 7 \cdot 10^{10} \text{ Па}; \quad E_t = 1,4 \cdot 10^8 \text{ Па};$

$$v_1^1 = v_1^2 = v_j = 0.33 \quad \rho_1 = \rho_2 = \rho_j = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Параметри еліптичного поперечного перерізу:  $a/b = 1,1$ .

Армуючі ребра структури (паралелі) розташовані в таких її точках:

$$x_j = [16 + 17(k-1)]\Delta x, \quad k = \overline{1, 5}, \quad \Delta x = \frac{L_1}{100},$$

Розподілене внутрішнє навантаження обох структур відповідало закону:

$$P(t) = A \cdot \sin \frac{\pi t}{T} [\eta(t) - \eta(t-T)], \quad (1.5)$$

де:  $A$  – амплітуда навантаження;  $T$  – тривалість імпульсу навантаження;

$T = R/c$ , де  $c$  – швидкість звуку в металі несучих оболонок;  $\eta(t)$  – функція Хевісайда. Розрахунки виконувались для  $A = 10^6 \text{ Па}$ ;  $T = 50 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ . Коефіцієнти Вінклера приймалися:  $C_1 = 1 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^3$  та  $C_1 = 1 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^3$ .

При розрахунках показників напружено-деформованого стану структур були створені скінченно-елементні моделі і визначені максимальні величини нормальних прогинів  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2) і напружень  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2) в серединних поверхнях несучих шарів зазначених структур.

При створенні у програмному середовищі *NASTRAN* адекватних скінченно-елементних моделей тришарових циліндричних оболонок використовувалися об'ємні скінченні елементи типу *Solid*, а для моделювання пружної основи у рамках гіпотези Вінклера – одномірні скінченні елементи типу *Spring*, розташовані по довжині оболонки [408].

Модель тришарової циліндричної структури кругового перерізу (рис. 2) налічувала: 184100 елементів і 194400 вузлів. В структурі еліптичного перерізу кількість скінченних елементів *Solid* становила 120000 елементів, а вузлів – 141400. Кількість елементів *Spring* в першому випадку становила 8100, а у другому – 20200.

Створені скінченно-елементні моделі оболонок відображають взаємозв'язок потенціальної енергії деформацій тришарової структури з енергією мас та доданих інерційних сил згідно принципу Д'аламбера:

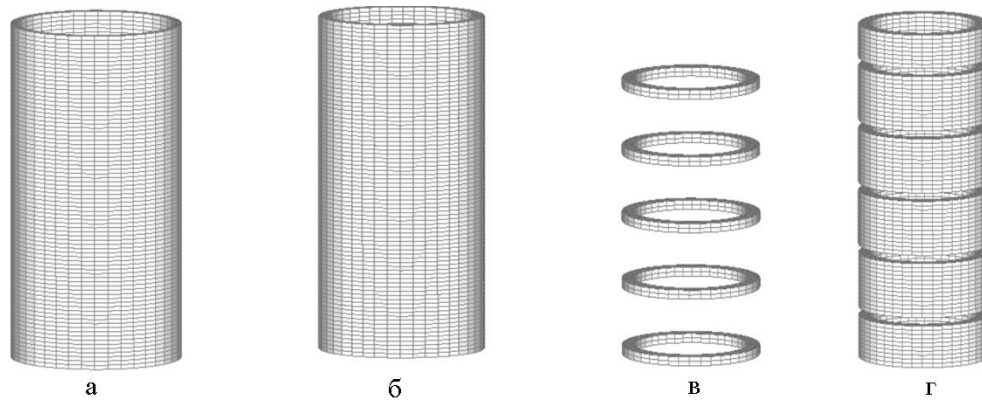


Рисунок 2. Скінченно-елементна модель тришарової циліндричної оболонки нормального кругового перерізу:  
*а – обшивка несуча внутрішня; б – теж саме зовнішня; в – армуючі ребра; г – полімерний заповнювач*

$$\Pi = E - W, \quad (1.6)$$

де  $E$  – потенціальна енергія деформацій і основи, а  $W$  – потенціал прикладених сил.

Після розбивки суцільної області на окремі елементи залежність (2.6) матиме наступний вигляд:

$$\Pi = \sum_{e=1}^E (E^{(e)} - W^{(e)}) = \sum_{e=1}^E \pi^{(e)} \quad (1.7)$$

Глобальна матриця жорсткості і глобальний вектор-стовпець в матричному рівнянні:

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (1.8)$$

записуються наступним чином:

$$[K] = \sum_{e=1}^E [k^{(e)}]; \quad \{F\} = -\sum_{e=1}^E \{f^{(e)}\}$$

Розрахунки напружено-деформованого стану структур здійснювались програмно-розрахунковим комплексом *NASTRAN* алгоритмом прямого перехідного динамічного процесу в часовому інтервалі  $0 \leq t \leq 10T$ . Розглядалися варіанти жорсткого і шарнірного закріплення торців структур. Результати розрахунків приведені на рис. 3 – рис. 8.

На графіках рис. 3, а зображено залежності максимальних величин нормальних прогинів  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2) в серединних поверхнях несучих оболонок симетричної тришарової циліндричної оболонки кругового перерізу на пружній основі Вінклера ( $C_1 = 1 \cdot 10^8$  Н/м<sup>3</sup> суцільна лінія при  $t = 4,3T$ ;  $C_1 = 1 \cdot 10^9$  Н/м<sup>3</sup> і пунктирна лінія при  $t = 4,8T$ ) від поздовжньої координати  $x$ . Торці оболонки жорстко защемлені. Пінопласт  $E_1^1 / E_1^2 = 50$ . На рис. 3, б зображені відповідні залежності максимальних величин нормальних напружень  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2) в серединних поверхнях несучих шарів цієї структури від координати  $x$ .

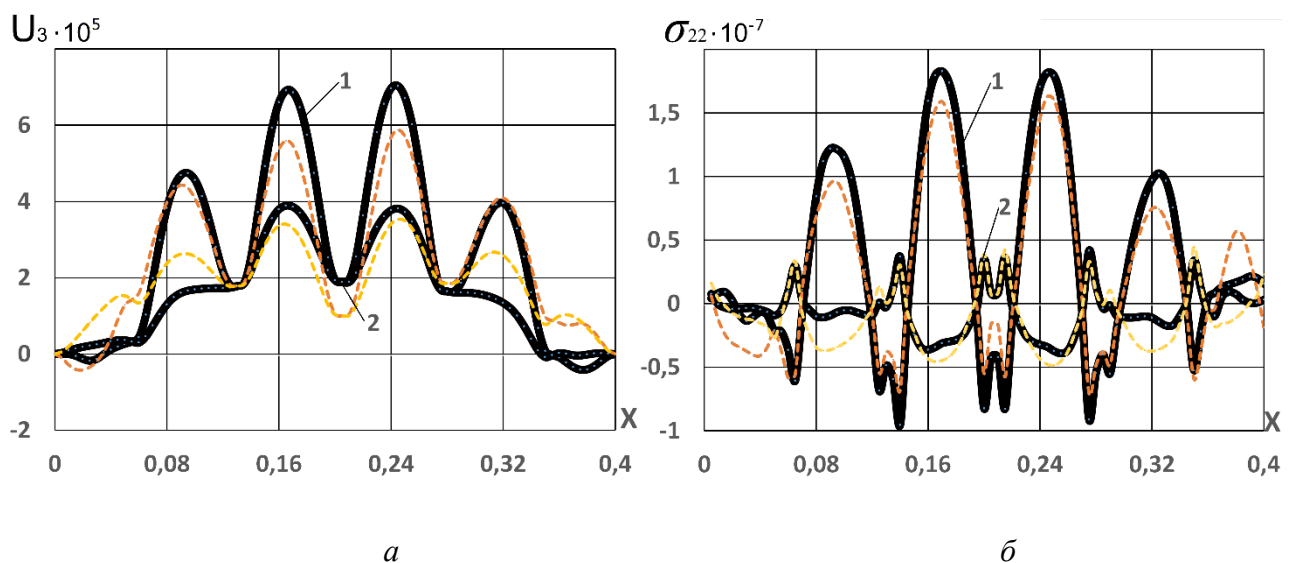


Рисунок 3. Максимальні величини прогинів і напружень в серединних поверхнях несучих шарів

при жорсткому затисненні торців циліндричної структури кругового перерізу:

а) нормальні прогини  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2); б) нормальні напруження  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2)

На графіках (рис. 4, а) зображено залежності максимальних величин нормальних прогинів  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2) в серединних поверхнях несучих оболонок симетричної тришарової циліндричної оболонки на пружній основі Вінклера ( $C_1 = 1 \cdot 10^8$  Н/м<sup>3</sup> суцільна лінія при  $t = 4,3T$ ;  $C_1 = 1 \cdot 10^9$  Н/м<sup>3</sup> пунктирна лінія при  $t = 4,75T$ ) від поздовжньої координати  $x$ . Торці оболонки шарнірно закріплені, наявність пінопласту  $E_1^1 / E_1^2 = 50$  при  $t = 4,3T$ .

На рис. 4, б зображені відповідні залежності максимальних величин нормальних напружень  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2) в серединних поверхнях несучих оболонок від координати  $x$ .

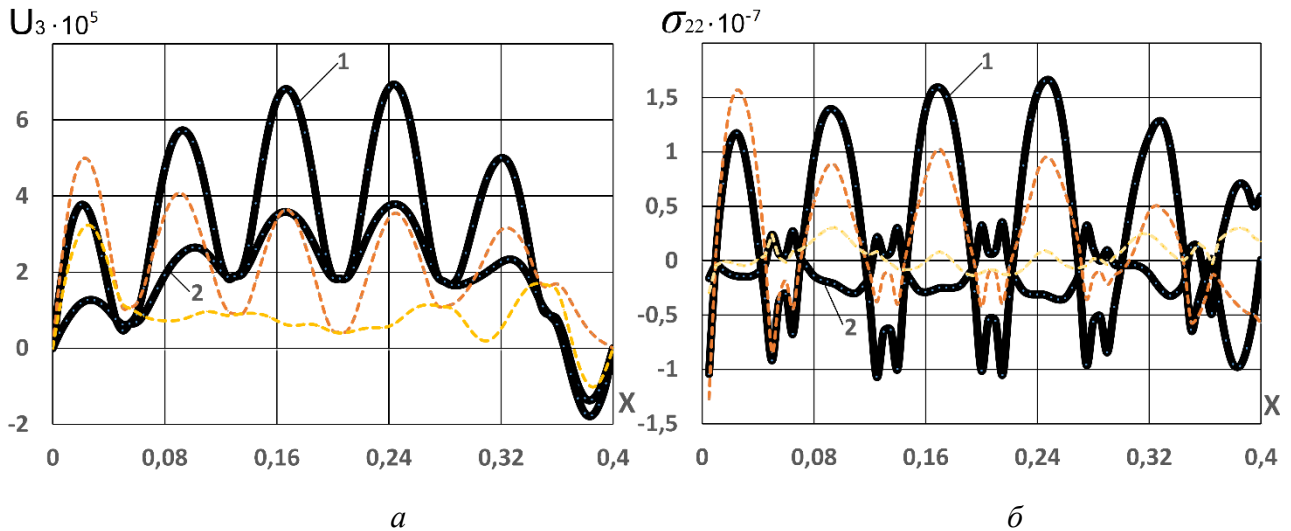


Рисунок 4. Максимальні величини прогинів і напружень в серединних поверхнях несучих шарів

при шарнірному затисненні торців циліндричної структури кругового перерізу:

а) нормальні прогини  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2); б) нормальні напруження  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2)

На графіках рис. 5, а зображені залежності максимальних величин

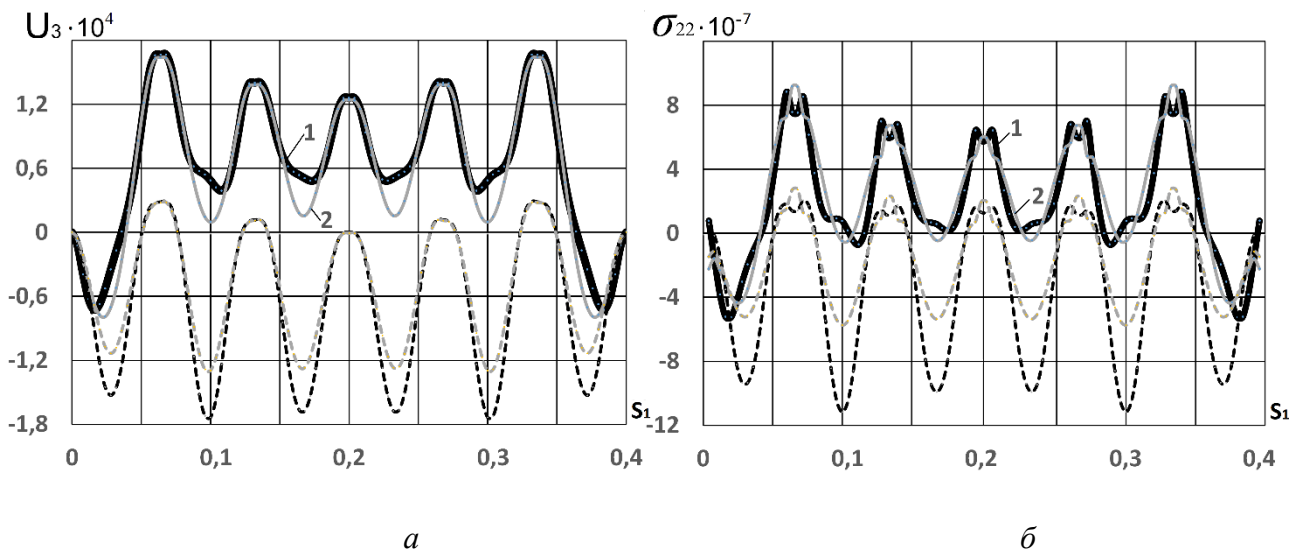


Рисунок 5. Максимальні величини прогинів і напружень в серединних поверхнях несучих шарів при жорсткому затисненні торців циліндричної структури еліптичного перерізу ( $s_2 = L_2/4$ ):

а) нормальні прогини  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2); б) нормальні напруження  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2)

нормальних прогинів  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2) в серединних поверхнях несучих шарів симетричної тришарової циліндричної оболонки у пружному середовищі Вінклера ( $C_1=1\cdot 10^8$  Н/м<sup>3</sup> суцільна лінія при  $t = 8,6T$ ;  $C_1=1\cdot 10^9$  Н/м<sup>3</sup> пунктирна лінія при  $t = 8,9T$ ) від поздовжньої координати  $s_1$  в перерізі  $s_2 = L_2/4$ .

Торці оболонкової структури жорстко затиснені. Пінопласт із співвідношенням модулів пружності несучого шару і заповнювача  $E_1^1 / E_1^t = 500$ .

На рис. 5б зображені відповідні залежності максимальних величин нормальних напружень  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2) в серединних поверхнях несучих шарів циліндричної структури від координати  $s_1$  в перерізі  $s_2 = L_2/4$ .

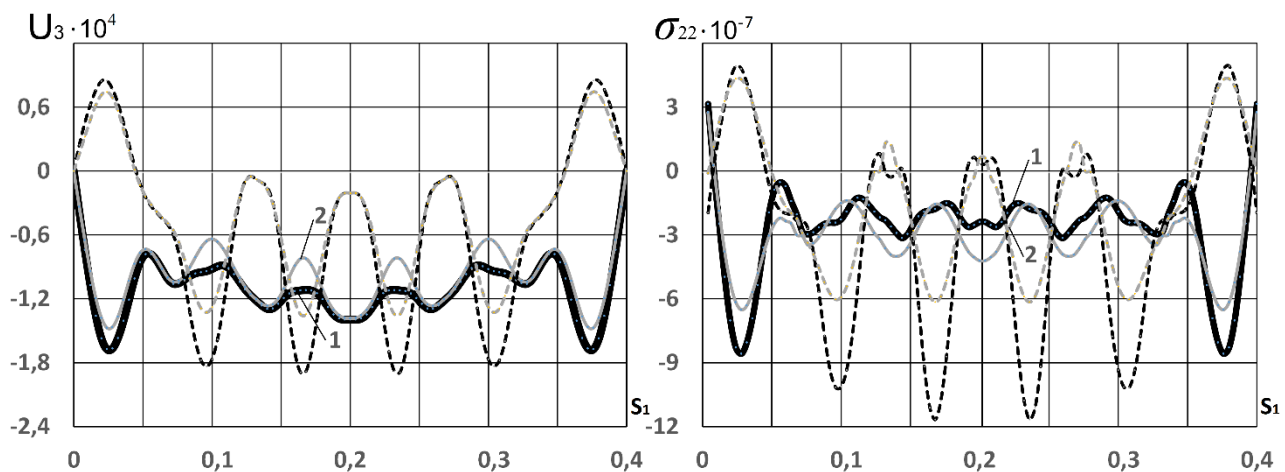


Рисунок 6. Максимальні величини прогинів і напружень в серединних поверхнях несучих шарів при шарнірному затисненні торців циліндричної структури еліптичного перерізу ( $s_2 = L_2/4$ ):

а) нормальні прогини  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2); б) нормальні напруження  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2)

На графіках рис. 6, а приведені залежності максимальних величин нормальних прогинів  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2) в серединних поверхнях несучих оболонок симетричної тришарової циліндричної оболонки на пружній основі Вінклера ( $C_1 = 1\cdot 10^8$  Н/м<sup>3</sup> суцільна лінія при  $t = 4,7T$ ;  $C_1 = 1\cdot 10^9$  Н/м<sup>3</sup> пунктирна лінія при  $t = 8,85T$ ) від поздовжньої координати  $s_1$  в перерізі  $s_2 = L_2/4$ . Торці оболонки шарнірно закріплені. Структура із пінопластом співвідношенням модулів пружності  $E_1^1 / E_1^t = 500$ .



На рис. 6, б приведені відповідні залежності максимальних величин нормальних напружень  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2) в серединних поверхнях несучих оболонок від координати  $s_1$  в перерізі  $s_2 = L_2/4$ .

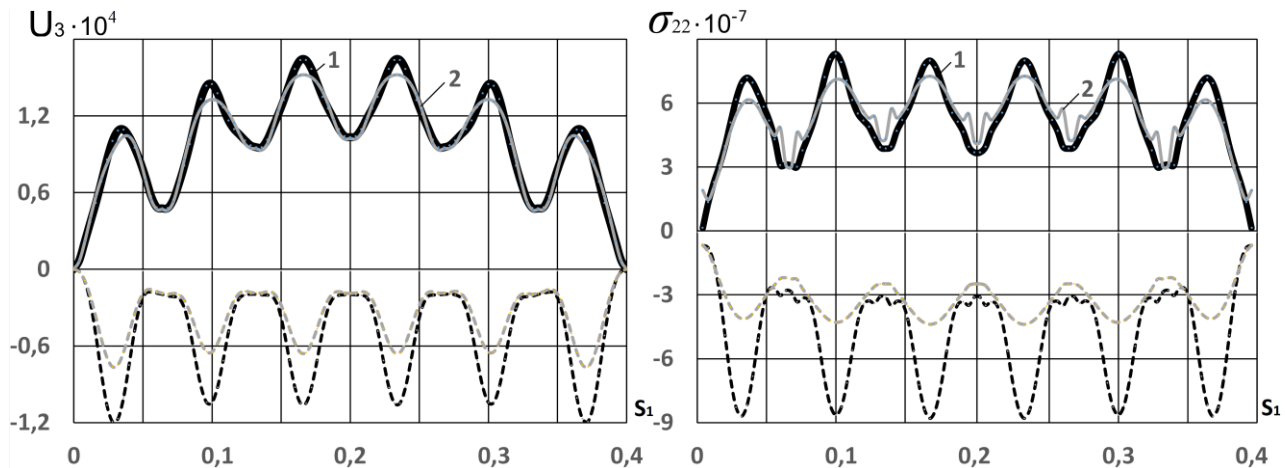


Рисунок 7. Максимальні величини прогинів і напружень в серединних поверхнях несучих шарів при жорсткому затисненні торців циліндричної структури еліптичного перерізу ( $s_2 = 0$ ):

а) нормальні прогини  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2); б) нормальні напруження  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2)

На графіках рис. 7, а зображені залежності максимальних величин нормальних прогинів  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2) в серединних поверхнях несучих оболонок симетричної тришарової циліндричної оболонки у пружному середовищі Вінклера ( $C_1 = 1 \cdot 10^8$  Н/м<sup>3</sup> суцільна лінія при  $t = 3,65T$ ;  $C_1 = 1 \cdot 10^9$  Н/м<sup>3</sup> пунктирна лінія при  $t = 2T$ ) від поздовжньої координати  $s_1$  в перерізі  $s_2 = L_2/4$ . Торці оболонки жорстко затиснені. Пінопласт із співвідношенням модулів пружності несучого шару і заповнювача  $E_1^1 / E_1^t = 500$ .

На рис. 7, б зображені відповідні залежності максимальних величин нормальних напружень  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2) в серединних поверхнях несучих шарів циліндричної структури від координати  $s_1$  в перерізі  $s_2 = 0$ .

На графіках рис. 8, а приведені залежності максимальних величин нормальних прогинів  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2) в серединних поверхнях несучих шарів симетричної тришарової циліндричної оболонки на пружній основі Вінклера ( $C_1 = 1 \cdot 10^8$  Н/м<sup>3</sup> суцільна лінія при  $t = 6,3T$ ;  $C_1 = 1 \cdot 10^9$  Н/м<sup>3</sup> пунктирна лінія при  $t =$

2,15T) від поздовжньої координати  $s_1$  в перерізі  $s_2 = 0$ . Торці оболонки шарнірно закріплені пінопласт  $E_1^1 / E_1^t = 500$ .

На рис. 8, б приведені відповідні залежності максимальних величин нормальних напружень  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2) в серединних поверхнях несучих оболонок від координати  $s_1$  в перерізі  $s_2 = 0$ .

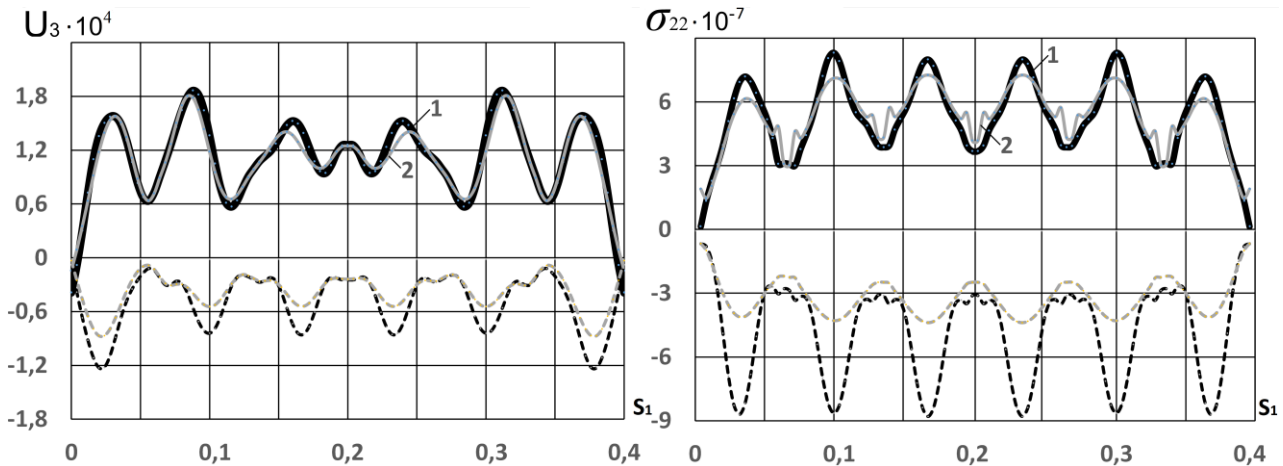


Рисунок 8. Максимальні величини прогинів і напружень в серединних поверхнях несучих шарів при шарнірному затисненні торців циліндричної структури еліптичного перерізу ( $s_2 = 0$ ):

а) нормальні прогини  $u_3^1$  (1) і  $u_3^2$  (2); б) нормальні напруження  $\sigma_{22}^1$  (1) і  $\sigma_{22}^2$  (2)

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено напружено-деформований стан тришарових циліндричних оболонок еліптичного і кругового перерізу з легким, армованим ребрами полімерним заповнювачем під дією нестационарного навантаження і впливом пружності зовнішнього середовища.

При аналізі динаміки елементів структур використано модель теорії оболонок і стрижнів С.П. Тимошенка. Проведено аналіз розрахунків впливу пружного середовища моделі Вінклера на напружено-деформований стан циліндричних оболонкових структур.

Розрахунки динаміки перехідних процесів тришарових циліндричних оболонок, розміщених в пружному середовищі, свідчать про можливість керування коливальними процесами в таких структурах.

Підбором матеріалів пакету таких оболонок, можна створити конструкцію структур з прогнозованою динамічною поведінкою при нестационарному навантаженні і відповідній пружності зовнішнього середовища.

## SECTION 14. ZOOTECHNICS

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.14.1

### 14.1 Результати застосування біопрепаратів у раціоні перепелів

Птахівництво – найбільш динамічна і важлива галузь сільського хазяйства, яка забезпечує населення країни високоякісними продуктами харчування – м'ясом та яйцями. В останнє десятиліття в багатьох країнах успішно розвивається порівняно молода та перспективна галузь птахівництва – розведення перепелів.

Розведення перепела в Україні, як в масштабах великих фермерських господарств, так і в приватному присадибному господарстві широко не розповсюджено, але на ринку споживання м'яса перепела і перепелиних яєць стрімко зростає. Зараз продукти перепільництва вважаються поки що делікатесними. Ця ніша в Україні майже порожня. Лише на 20% заповнений ринок України перепелиними яйцями, і всього лише на 7% перепелиним м'ясом.

Зараз перепелине м'ясо і яйця набувають все більшої популярності. І це не випадково. М'ясо перепелів – це якісний продукт, що за хімічним складом і смаком відноситься до дієтичної продукції. За умови суворого дотримання правильної технології утримання та відгодівлі можна отримати високі результати та рентабельність [409]. Так, перепелине м'ясо є низькокалорійним і в той же час містить багато корисних вітамінів – А, В, Н, К і мікроелементів – мідь, магній, калій. А мінімальний вміст холестерину робить цей продукт ще більш цінним для профілактики і при лікуванні багатьох захворювань.

Цінні і корисні і перепелині яйця. У них також багато поживних речовин, що дозволяє використовувати їх не тільки для профілактики хвороб, але і в дієтичному харчуванні. До того ж перепелині яйця не заражаються сальмонельозом, оскільки перепілки не схильні до цього захворювання.

Перепела мають ряд продуктивних та хазяйських переваг перед іншими видами птахів [410]. Наприклад, вирощувати перепелів значно вигідніше, ніж курей. Адже ростуть перепела в 5 разів швидше, а корма споживають набагато

менше. Маса яєць, знесених однією самкою, в 15-20 разів перевищує її власну масу. Стабільна несучість у них зберігається протягом 10 місяців.

Розводити перепелів можна протягом всього року [411]. Для їх розведення не потрібно значних площ, в особистих господарствах їх утримують в клітках. Утримувати перепелів в домашніх умовах не складніше, ніж будь-яку іншу домашню птицю. Дуже важливо, що перепелам не потрібна вакцинація. Завдяки цьому кінцевий продукт виходить екологічно чистим і, як уже зазначалося, має високі поживні та навіть лікувальні властивості.

Серед чинників, що визначають підвищення продуктивності птиці, найбільше значення має раціональний добір біологічно повноцінних кормових раціонів. При цьому звертається пильна увага не лише на оптимальне співвідношення необхідних поживних речовин у раціоні, але й на рівень мінеральних компонентів та вміст вітамінів. Тому так важливий пошук нових недорогих, екологічно чистих біологічно активних добавок, які б забезпечити птахівництво всіма необхідними життєво важливими компонентами, мінеральними речовинами і вітамінами [412-415].

У Регламенті № 1831/2003 Європейського Парламенту та Ради від 22 вересня 2003 року про добавки, що використовуються в харчуванні тварин, серед інших речовин згадуються пробіотики та пребіотики [416]. Правильний підбір і використання пробіотичних препаратів у кормовиробництві дає можливість знизити витрати на годівлю і підвищити продуктивність тварин, при незмінних затратах на виробництво [417, 418]. Екологічно чисті пробіотики не забруднюють продукти тваринництва та навколишнє середовище. Їх застосування безпечно для людей, які споживають тваринницьку продукцію. У більшості випадків вони можуть бути єдиним ефективним методом лікування, профілактики та стимулювання продуктивності сільськогосподарських тварин [419, 420].

Можливості використання гумінових препаратів у тваринництві різноманітні, проте їх застосування як кормові добавки розвинене недостатньо. Дослідження вчених різних країн показали, що гумінові речовини в організмі тварин, як і в рослинах, працюють на клітинному та субклітинному рівні. Вони

проникають у клітину і беруть участь у обмінних процесах, оптимізуючи їх, полегшують проходження через стінки кишечника неорганічних іонів, сприяючи засвоєнню мінеральних речовин, необхідні нормальній діяльності організму [421, 422].

Дуже ефективно використання гумату натрію у птахівництві. Було висловлено припущення, що однією з причин позитивного впливу гуматів на організм птиці є збільшення поглинання азоту, фосфору та інших поживних речовин під впливом гумінових речовин завдяки їх хелатуючим властивостям [423, 424].

Аналіз наукових досліджень [425-431] свідчить, що сьогодні ведеться широкий пошук і вивчення різних кормових добавок, які могли б бути джерелом повноцінного білка, а в його складі повного комплексу амінокислот для птиці. Причиною дисбалансу в потребі і використанні пробіотичних препаратів саме у птахівництві є недостатня кількість високоефективних, недорогих пробіотичних препаратів [432]. Таких кормових добавок високої якості в Україні недостатньо, а ті що надходять із-за кордону, вирізняються високою вартістю й часто фальсифіковані.

В умовах виробництва не завжди є можливість однорідного змішування рідких препаратів із кормами, оскільки обсяг додаваного препарату становить частку відсотка обсягу корму. Звісно, масляні препарати не розчиняються у воді, але через випоювання розподіл між поголів'ям стає більш рівномірним. Встановлено, що введення у питну воду для курчат-бройлерів добавки «Reasil Humic Vet» сприяє підвищенню біологічної повноцінності раціону, тим самим покращує процеси травлення та інтенсивність наростання живої маси на 11,85 і 4,94% при тенденції, що простежується до зниження витрат кормів виробництва одиниці продукції. Тому забезпечення свійської птиці пробіотиками та вітамінами вимагає використання нових комплексних препаратів, які застосовуються з питною водою, здатних легко засвоюватися, не викликаючи при цьому алергічних реакцій та інших побічних ефектів [412, 420].

Також відомо, що під час стресової ситуації, інфекційних захворювань

після вакцинації у птиці, як правило, знижений апетит і споживання корму обмежене, тому введення в корм пробіотичних препаратів та вітамінів може виявитися малоефективним. Споживання води, навпаки, у цей час зростає, тому можливість доведення потрібних макро- та мікроелементів до птиці через воду вище, ніж через корм.

Питання оздоровлення, підвищення загальної резистентності організму птиці, підвищення їх продуктивності за допомогою пробіотиків дуже перспективне. Тому використання в раціонах годівлі птиці нових вітчизняних пробіотичних препаратів за умови їх промислового виробництва за технологією відповідно до державного стандарту – актуальне для вирішення низки проблем сучасного птахівництва і має велике науково-практичне значення.

Дослідження проводились у власному господарстві «Покровське» Донецької області на перепілках породи Фараон, Техаська та Японська.

Конституція птахів породи Фараон щільна, приземкувата, крила щільно притиснуті до торса. Жива вага самки становить 220-310 г, самця – 200-270 г. Репродуктивний вік у самців настає у півторамісячному віці, самки починають нестися вже через місяць після вилуплення. Молодняк таких перепелів відрізняється вражаючою скоростиглістю. Через п'ять тижнів після початку відгодівлі їхня маса дорівнює 130-140 г. Розвиток перепелів закінчується у віці 56 днів, після чого вони підлягають забою. У птахів м'ясо високої якості з малим вмістом холестерину. Самки зносять до 220 яєць за рік, маса яких становить від 12 до 18 г.

Техаська перепілка дуже швидко входить до стадії статевої зрілості, завдяки чому курочки починають швидко нестись. Перше яйце від них, за відгуками фермерів, одержують у віці 45-55 днів. Яйця більші за звичайні, вага 15-16 г (є відомості про рекордні 25 г, але це рідкість). Несучість становить 220-260 яєць на рік (4-6 шт. на тиждень). Пік продуктивності у несучок припадає на 5-6 місяців. Жива вага самки становить 420-450 гр., при цілеспрямованій селекції за характеристиками розміру досвідчені птахівники досягають середньої ваги у стаді в 550-700 гр. Самці – дещо менше.

Японські перепели – це найбільш поширена порода. Маса самців ледве досягає 120 г, самок — 140. Птахи починають нести яйця на 30-40-й день свого життя і зносять їх більш ніж 250 штук на рік. Маса одного яйця дорівнює 12 г. Ростуть японські пташенята дуже швидко. Буквально за 2 місяці після свого народження вони досягають розмірів дорослих перепелів.

Птахи утримуються у клітках. Основним кормом для перепелів є спеціалізований комбікорм. До раціону дослідних груп додавався біопрепарат Айдар.

Айдар – це універсальний рідкий органічний препарат з біогумусу, є результатом діяльності технологічної лінії дощового черв'яка, відомого як гібрид «Старатель». Не містить запаху і має коричневий колір. У цей препарат входять натуральні екологічно чисті і безпечні поживні елементи, гумінові речовини. Наявність гуматів і фульватів натрію і калію, фульвокислот, амінокислот, вітамінів, природних антибіотиків, фітогормонів, мікро – і макроелементів робить Айдар комплексним препаратом з вмістом всіх компонентів вже вермикомпосту в розчиненому фізіологічно активному та доступному стані.

Імуногепатофіт – це суміш біологічно активних речовин на основі натуральних природних компонентів органо-мінерального походження, до складу якої входять органічні речовини - фульво - і гумінові кислоти. Добавка виробляє комплексний позитивний вплив на перебіг біохімічних і фізіологічних процесів в організмі тварин і птиці, сприяє створенню оптимальних умов для травлення, тим самим підвищує ефективність засвоєння поживних речовин у відділах шлунково-кишкового тракту. Добавка має високу біодоступність, підсилює функції організму, підтримує хімічний баланс, є потужним антиоксидантом. Регулює окислювально-відновні процеси, впливає на вуглеводний, білковий та жировий обміни; володіє антистресовим, адаптогенним, антитоксичним, протиалергічним, тонізуючим, гепатопротекторним, імуномодулюючим, протизапальним, репаративним, антибактеріальним і антивірусним діями. Добавку рекомендовано застосовувати перорально з питною водою в дозах для молодняка бройлерів, перепілок, індичок, гусей, качок - 4-5 мл / 1 л води; 5-7 днів поспіль.

Дослідження проводились з використанням стандартизованих в Україні методик і методичних підходів та інших нормативних документів.

Дослідження виконуються методом груп періодів. Для обліку продуктивних якостей відібрані технологічні групи. Для досліджень було відібрано перепелів приблизно одного віку, однієї маси, по 60 голів в групі (45 самок та 15 самців). В кожному досліді оцінка облікових показників виконується в порівнянні з контрольною групою птахів, які є аналогами дослідних на початок досліду.

Для розрахування оптимального дозування препарату Айдар при додаванні до раціону годівлі перепелів досліджено три групи:

I група - контрольна. Годівля збалансованим комбікормом та випоювання чистою водою.

II, III групи - дозування препарату Айдару об'ємом 5 мл та 10 мл на 1 л води, двічі на тиждень (ці дози обрано для дослідження як ті, що показали найкращі результати при попередніх дослідженнях на перепелах.

Ефективність застосування препарату Айдар наведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Вплив застосування препарату Айдар на продуктивність перепелів (2021-2023 рр.)

Варіант	Продуктивність яєць, шт.	Середня маса яйця, г	Маса тушки, г
Айдар 5 мл/1 л води			
Фараон	5128	11±0,03	93±3,0
Японський перепел	5158	11±0,03	81±3,0
Техаський білий	5145	11±0,03	82±2,7
Айдар 10 мл/1 л води			
Фараон	5133	12±0,03	97±3,0
Японський перепел	5189	11±0,03	82±3,0
Техаський білий	5167	11±0,03	83±3,1

Дослідженнями встановлено, що додавання у воду препарату Айдар дозою 5 мл/1л сприяло підвищенню яєчної продуктивності для породи Фараон на 7 шт. порівняно з контролем. Найбільшу прибавку за цим показником (12 шт.) отримано при дозі препарату 10 мл/1л води. Середня маса яйця підвищувалась порівняно з контролем лише при використанні дози препарату Айдар 10 мл/1 л



води. Маса тушки пропорційно збільшувалась, порівняно з контролем, зі збільшенням дози препарату від 3 г до 7 г.

Додавання у воду препарату Айдар дозою 5 мл/1л сприяло підвищенню яєчної продуктивності для породи Японський перепел на 37 шт. порівняно з контролем. Найбільшу прибавку за цим показником (68 шт.) отримано при дозі препарату 10 мл/1л води. Середня маса яйця залишалась в межах контролю. Маса тушки пропорційно збільшувалась, порівняно з контролем, зі збільшенням дози препарату від 1 г до 2 г.

Для породи Техаський перепел характерно зі збільшенням дози препарату підвищення яєчної продуктивності на 24 та 46 шт. до контролю, а маси тушки – на 2-3 г.

Для визначення оптимального методу введення препарату Айдар до організму перепелів досліджено чотири групи. Дослідження проводились на породі Японський перепел.

Перша група - контрольна. Годівля збалансованим комбікормом та випоювання чистою водою.

Друга група – дослідна 1. Годівля ідентична, а до води було додано препарат Айдар. Дозування 10 мл на 1 л води, двічі на тиждень.

Третя група – дослідна 2. Годівля збалансованим комбікормом з додаванням 10 мл препарату Айдар на 1 кг корму. Випоювання чистою водою.

Четверта група – дослідна 3. Годівля та випоювання ідентична контролю, але індивідуально ( кожній особі у дзьоб) 1 капля (0,05 мл) препарату Айдар, двічі на тиждень.

Результати від застосування препарату Айдар в раціоні перепелів наведені в табл.2.

Таблиця 2. Вплив застосування препарату Айдар на яйценосність перепелів  
(2021-2022 рр.)

Група	Контрольна	Дослідна 1	Дослідна 2	Дослідна 3
Продуктивність, шт.	6012	6083	6068	6121
Співвідношення продуктивності, %	100	101,2	100,9	101,8
Середня маса яйця, г	10	11	10	11

Таким чином, дослідні групи покращили показник яйценосності. Дослідна 1, група з додаванням 10 мл на 1 л води збільшила продуктивність на 1,2 % від контрольної групи. Дослідна 2, група з додаванням 10 мл на 1 кг корму збільшила на 0,9 %. Дослідна 3, група з додаванням препарату індивідуально на 1,8 %.

Найвищий показник продуктивності виявлено у дослідній групі 3, але індивідуальне введення препарату займає багато часу та є дуже клопітким. Середня маса яйця залишилась приблизно однаковою.

Таким чином, дослідженнями підтверджена ефективність використання препарату Айдар для додавання його до води дозою 10 мл/1 л у раціоні перепелів.

Виконана порівняльна оцінка продуктивності перепелів різних порід за додавання до раціону препаратів Айдар та Імуногепатофіт продемонструвала наступні показники (табл. 3).

Контроль – годівля комбікормом та впоювання чистою водою.

Таблиця 3. Вплив застосування імуностимуляторів на продуктивність перепелів

Порода	Варіант	Продуктивність яєць, шт..	Середня маса яйця, г	Маса тушки, г
Японський	Контроль	6620	10±0,02	79±3,0
	Айдар	6668	11±0,01	80±4,0
	Імуногепатофіт	6683	10±0,01	81±2,0
Техаський білий	Контроль	4950	13±0,02	106±3,0
	Айдар	5004	14±0,03	110±3,0
	Імуногепатофіт	5007	14±0,01	112±4,0
Фараон	Контроль	5126	11±0,03	91±3,0
	Айдар	5129	12±0,03	98±2,0
	Імуногепатофіт	5131	12±0,02	97±3,0

Серед порід, що вивчалися, найбільша продуктивність яєць була у Японського, що на контрольному варіанті склало – 6620 шт. при додаванні до води препарату Айдар кількість яєць підвищувалась на 48 шт., а при додаванні Імуногепатофіту – на 63 шт. Істотного впливу на середню масу яйця препарати не здійснили. Щодо маси тушки, то при використанні препаратів, що вивчалися, цей показник підвищився порівняно з контролем на: 1 г (Айдар) та 2 г (Імуногепатофіт).

Яєчна продуктивність Техаського білого істотно поступалась Японському, проте додавання препаратів до води сприяло підвищенню цього показника

порівняно з контролем на 14 шт. та 17 шт., відповідно. Слід зазначити більш суттєвий вплив на збільшенні середньої маси тушки, яка збільшилась відповідно на 4 (Айдар) та 6 г (Імуногепатофіт).

Подібна закономірність простежувалась і у породи Фараон. Менш істотний вплив був на яєчну продуктивність, але м'ясна продуктивність підвищувалась порівняно з контролем на 7 (Айдар) та 6 г (Імуногепатофіт).

За результатами досліджень можна зробити висновок, що імуностимулятори здатні впливати на генетичну особливість порід, посилюючи найкращі її сторони. Тобто збільшуючи яєчну продуктивність у породи яєчного напрямку, та м'ясну продуктивність – у м'ясних порід.

Для визначення ефективності впровадження елементів, що вивчались, нами була розрахована економічна ефективність за основними показниками (табл. 4).

Таблиця 4. Економічна ефективність виробництва продукції перепілок різних порід

Порода	Варіант	Продуктивність, г		Собівартість, грн		Чистий дохід, грн.		Рентабельність, %	
		яєць	м'яса	яєць	м'яса	яєць	м'яса	яєць	м'яса
Японський	Контроль	6620	4740	9,1	105,5	10550,0	922,0	63,7	64,8
	Айдар	6668	4800	9,0	104,4	10660,0	939,0	63,9	65,2
	Імуногепатофіт	6683	4860	9,0	103,9	10687,5	953,0	64,0	65,4
Техаський білий	Контроль	4950	6360	12,1	78,6	6375,0	1408,0	51,5	73,8
	Айдар	5004	6600	12,0	75,9	6500,0	1479,0	52,0	74,7
	Імуногепатофіт	5007	6720	12,0	75,1	6497,5	1511,0	51,9	75,0
Фараон	Контроль	5126	5460	11,7	91,6	6815,0	1138,0	53,2	69,5
	Айдар	5129	5880	11,7	85,2	6812,5	1263,0	53,1	71,6
	Імуногепатофіт	5131	5820	11,7	86,8	6807,5	1241,0	53,1	71,1

Найнижчі показники собівартості виробництва яєць були отримані у породи яєчного напрямку (Японський). Собівартість 10 яєць була на рівні 9,0 грн. Використання імуностимуляторів сприяла зниженню цього показника на 0,1 грн порівняно з контролем.

Щодо собівартості виробництва м'яса, то при використанні препаратів, що вивчались, було відмічене зниження цього показника незалежно від породи.

Найнижчим цей показник був у породи Техаський білий.

Найвищий рівень рентабельності виробництва яєць забезпечила порода Японський перепел при використанні препарату Імуногепатофіт (64,0 %). У породи Техаський білий найвищу рентабельність виробництва яєць забезпечив препарат Айдар. А у породи Фараон – найвища рентабельність була за контрольного варіанту.

Щодо виробництва м'яса, то найвищі показники економічної ефективності були отримані у породи Техаський білий – чистий прибуток 1511 грн, рівень рентабельності 75,0 %.

Враховуючи отримані результати економічного аналізу впровадження імуностимулюючих препаратів можна зробити висновок, що суттєвого впливу на яєчну продуктивність вони не мали, проте незалежно від породи істотно покращували економічні показники виробництва м'яса.

## REFERENCES

1. Боярин А.Ю. Закони раціонального використання водних ресурсів України. – Київ, 2001. – С.54-56.
2. Водний кодекс України //ВВР.-1995.-№24.-с.189
3. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання: Державні санітарні правила і норми. Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 23 грудня 1996 р., № 383.
4. Войцицький А.П. Нормування антропогенного навантаження на природне середовище: навч. посіб./ - Житомир: ЖТДУ, 2007. – 201 с.
5. Гідросфера. Правила контролю складу і властивостей стічних та технологічних вод: КНД 2-11.1.2.008-94. - [Наказ від 28.12.94 № 125].
6. Грабовський В.А. та ін. Методи та засоби оцінки стану довкілля: Посібник/ - Львів: Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2005. – 324 с.
7. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: підручник/ - К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
8. Клименко М.О., Скрипчук П.М. Метрологія, стандартизація і сертифікація в екології: Підручник. - К.: Вид. центр „Академія”, 2006. – 368 с.
9. Клименко Л.П. Техноекологія: навч. посіб./ - Одеса: Фонд Екопринт; Сімферополь: Таврія, 2000. – 542 с.
10. Ковальчук О., Янів М. Водні ресурси Львівщини. Наукове видання. Львів:, 2010. – 16 с.
11. Косенко М.В. та ін. Проблеми екології. Довідник. – Львів. - Видав. „Добра справа”, 2004. – 380 с.
12. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація: підручник. К. Кондор, 2003. – 288 с.
13. Кукурудза С.І., Гурій С.М. Аналіз якості природних вод: лаб. практикум. – Львів, 1990. – 90 с.
14. Артиш В. І. Управлінські аспекти розвитку виробництва екологічно чистої продукції в сільському господарстві України. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2006. № 102. – С. 242-247.
15. Берлач Н.А. Розвиток органічного напрямку у сільському господарстві України (адміністративно-правові основи): автореферат дис. на здобуття ступеня доктора юридичних наук: 12.00.07 «Адміністративне право і процес; фінансове право; інформаційне право». К., 2010. – 34 с.

16. Дудкіна Г.А. Дія локального внесення органо-мінеральних добрив на щільність ґрунту, її водний режим і продуктивність культур. Бюл. Всерос. наук.-дослід. ін-ту добрив і агроґрунтознавства. 2001. № 114. - С. 83
17. Колонтаїв В.М. Проблеми агроєкології та отримання високих стабільних урожаїв. Географія. Біологія. Хімія. Тамбов, 1996. - С. 20
18. Леонець В. О. Екологічні наслідки сучасної деградації природних і антропогенних ландшафтів та основні напрямки охорони земель. Землевпорядний вісник, № 3,1998. – С. 26-30.
19. Лунєєв Л. Органічні продукти: комерція чи здоров'я? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.potrebitel.net.ua./print/2284>
20. Сокол Л.М. Екологічне (органічне) землеробство – складова сталого сільського господарства. Екологічна безпека № 3-4. 2008. - С. 102-109.
21. Писаренко В.М. Система органічного землеробства агроєколога С.С. Антонця. Полтава. 2016. – 131с.
22. Федерація органічного руху України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.organic.com.ua>
23. FAQ - ORGANIC UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://organic.ua/uk/organicworld/faq>
24. . Sonko, S. (2019). Man in Noosphere: Evolution and Further Development. *Philosophy and Cosmology*, 22, 51–74. doi:10.29202/phil-cosm/22/5
25. Chielo, L., Pike, T., & Cooper, J. (2016). Ranging Behaviour of Commercial Free-Range Laying Hens. *Animals*, 6 (5), 28. doi:10.3390/ani6050028
26. Zeltner, E., & Hirt, H. (2003). Effect of artificial structuring on the use of laying hen runs in a free-range system. *British Poultry Science*, 44 (4), 533–537. doi: 10.1080/00071660310001616264
27. Tsytsiura, Y. (2020). Assessment of soils of the vinnitsia region for organic production application. *Agriculture and Forestry*, (1), 13–27. doi: 10.37128/2707-5826-2020-1-2
28. Атлас «Агрокліматичні ресурси України» /за ред.. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенка. Київ, 2016. 113 с.
29. Бурда Р.І. Концепція сучасної науки про сегетальні бур'яни. Агроєкологічний журнал. 2002. №1. С. 3-11.
30. Вавринович О., Качмар О., Дубицький О., Дубицька А. Вплив фактора сівозміни на гербологічний стан посівів зернобобових культур. Міжвідомчий тематичний науковий збірник з фіто санітарної безпеки. 2018. №64. С. 24-33.
31. Дідух Я. П. Популяційна екологія / Я. П. Дідух. - Київ: Фітосоціоцентр, 1998. - 192 с.

32. Злобін Ю.А. Популяційна екологія рослин: сучасний стан, точки росту. Суми, 2009. 263 с.
33. Макрушин Н.М. та ін. Методологічні засади періодизації онтогенезу рослин. Сучасний стан та перспективи розвитку насінництва в Україні: наук. праці ПФ «КАТУ» НАУ. Сільськогосподарські науки. 2008. Вип. 107. С.182-188.
34. Коваленко І. М. Структура популяцій основних домінантів трав'яно-чаганичкового ярусу в лісових масивах ДСГНВП: автореф. дис. на здобуття наук ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.05 «Ботаніка»/І. М. Коваленко. – К., 2003. – 20 с.
35. Патица В. П. Наукова концепція сталого розвитку України / В. П. Патица // Агроекологічний журнал. – 2002. – № 2. – С. 10–14.
36. Соломаха В. А. Збереження біорізноманіття у зв'язку із сільськогосподарською діяльністю / В. А. Соломаха, О. М. Малієнко, Я. І. Мовчан. - К.: ЦУЛ, 2005. - 123 с.
37. Циков В.С., Матюха Л.П. Бур'яни: шкодочинність і система захисту. Дніпро: Енем. 2006. 86 с.
38. Gibson D. J. Methods in Comparative Plant Population Ecology. Oxford Univ. Press: NewYork, 2014. 128 p.
39. Harper J. L. Demography of plants / J. L. Harper, J. White // Annual review of ecology and systematics. - 1974. - Vol. 5. - P. 419-463.
40. Lapinsh D., Korolova J., Berzinsh A. Crop rotation influence on the weed incidence in cereals. Zemdirbyste-Agriculture. №95(3). P. 433-439.
41. Mooney H., Lavigauderie A., Cesario M. et al. Biodiversity, climate change and ecosystem services. Current Opinion in Environmental Sustainability. 2009. №1. P. 46-54.
42. Tykhonova O., Skliar V., Sherstiuk M., Kyrylchuk K., Butenko A., Bashtovyi M. Analysis of *Setaria glauca* (L.) P. Beauv. population's vital parameters in grain agrophytocenoses. Environmental Research Engineering and Management. 2021. №77(1). P. 33-46.
43. Zlobin Yu., Kovalenko I., Klymenko H., Kyrylchuk K., Bondarieva L., Tykhonova O., Zubtsova I. Vitality analysis algorithm in the Study of plant individuals and populations. The open agriculture journal. №15. P. 119-129.
44. EN 1990. Basis of Structural Design –Brussels: Eurocode European Committee for Standardization. – 2002. – 89 p.
45. ISO 2394:1998. General principles on reliability of structures. – International Organization for Standardization. ISO, Geneva, Switzerland. –1998.

46. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsyipy. – K.: Ministerstvo roz-vytku hromad ta terytorii Ukrainy. – 2018.– 67 s.
47. DBN V.1.2-6:2022. Osnovni vymohy do budivel i sporud. Mekhanichniy opir ta stiikist. – K.: Ministerstvo rozvytku hro-mad ta terytorii Ukrainy. – 2022. – 56 s.
48. ISO 13822. Basis for design of structures – Assessment of existing structures. – ISO, Geneva, Switzerland. – 2001.
49. Hingorani R. Structural safety requirements based on risks to person / R. Hingorani,  
50. Tenner // Special Workshop on Risk Acceptance and Risk Communication – March
51. Perelmuter A.V. Nahruzky y vozdeistvyia na zdanyia y sooruzhenyia / A.V. Perelmuter, V.N. Hordeev, A.Y. Lantukh-Liashchenko, A.V. Makhynko, V.A. Pashynskiy, S.F. Pychuhyn. Pod obshchei red. A.V Perelmutera. – 4-e yzd., pererab. Holický M. Reliability levels related to different reference periods and consequence classes / M. Holický, D. Diamantidis, M. Sýkora //Beton und Stahlbetonbau. – 2018. – Vol. 113(1). – P. 22 –26.
52. Bilyk A.S., Kovalenko A.I. Porivnjannja metodiv rozrakhunku metalevykh karkasiv vysotnykh budivel' na odynychnu zhyvuchistj [Comparison of calculations of high-rise metal frame buildings with single vitality]. Zbirnyk naukovykh pracj Ukrajsjckogho instytutu stalevykh konstrukcij imeni V.M. Shymanovskogho - Kiev [Collected Works of the Institute of Ukrainian steel structures of V.M. Shymanovski - Kiev]. 2015 – no. 16, –pp. 73-78 (in Ukrainian).
53. Holický, M. Optimisation of the target reliability for temporary structures / M. Holický // Civil Engineering and Environmental Systems.–2013. – Vol. 30, No. 2, – P. 87 – 96.
54. Fischer K. Optimal and acceptable reliabilities for structural design / K. Fischer, C. Viljoen, J. Kähler, M.H. Faber // Structural Safety. –2019. – Vol. 76. – P. 149 – 161.
55. Hallquist, J.O.: LS-DYNA Theory Manual, Livermore Software Technology Corporation: California, USA 2005.
56. Steenbergen R. Economic and human safety reliability levels for existing structures / R. Steenbergen, M. Sýkora, D. Diamantidis., M. Holický, T. Vrouwenvelder // Structural Concrete. – 2015. – Vol.16(3). – P. 323 – 332.
57. Hatem Tagel-Din. High Fidelity Modeling of Building Collapse with Realistic Visualization of Resulting Damage and Debris Using the Applied Element Method, 2009, 135 p. – (Applied Science International).
58. DSTU B V.2.6-210:2016. Otsinka tekhnichnoho stanu stalevykh budivelnykh konstruktsii, shcho ekspluatuiutsia. – K.: Minrehion Ukrainy. –2016. – 80 s.
59. Zaks Sh. Teoryia statystycheskykh vyvodov /Sh. Zaks. – M.: Myr. – 1975. – 776 s.



60. Lu D. Global seismic reliability. Analysis of building structures based on system / D. Lu, P. Yu. Song // Level Limit States. – Oct. 12-17, 2008. – Beijing, China.
61. Oehme P. Schäden an Stahltrawerken: Statistische Schadensanalyse unter Deachtung juristischer Aspekte / P. Oehme.– Berlin.
62. Pychuhyn S.F. Nadezhnost stalnykh kon-struktsyi proyzvodstvennykh zdanyi / S.F. Pychuhyn. – M.: Yzd-vo ASV. – 2011. – 456 s.
63. Belytschko, T.; Chiapetta, R.L. & Bartel, H.D.: Efficient Large Scale NonLinear Transient Analysis by Finite Elements. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 10 (1976) 1, pp. 579-596..
64. Cheol-Ho Lee, Soenwoong Kim, Kyu-Hong Han, Kyungkoo Lee. Simplified nonlinear progressive collapse analysis of welded steel moment frames. Journal of Constructional Steel Research, 2009, №65, pp. 1130–1137.
65. Volodymyr B. Types of housing for migrants [Electronic resource] / Bab\yak Volodymyr // 2021. – 2021. – Resource access mode: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2021/dissertation/11684/babyak.pdf>.
66. I. I. Marchenko The concept of "population migration" in the context of modern sociological approaches / I. I. Marchenko, O. V. Pelishenko, I. I. Pelishenko, 2012. - (Modern society: political sciences, sociological sciences, cultural science.). – P. 112–118..
67. Вихор Л. В. Питання просторової організації багатофункціональних розважальних комплексів // Вісник ХДАДМ. – 2009. – № 1.– С. 16–19.
68. Березко О.В. Архітектурно-планувальна організація комунікативного простору у структурі торгово-розважальних центрів : автореф. дис. канд. арх. : спец. 18.00.02 «Архітектура будівель та споруд». – Львів, 2017.
69. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2006.
70. Mansur A.Z., Djamaluddin R., Parung H., Irmawaty R. Performance Improvement of Reinforced Concrete Beams Strengthened with GFRP Sheet. (2024). Lecture Notes in Civil Engineering, 371 LNCE, pp. 317 - 328. Doi.org/10.1007/978-981-99-4045-5\_27.
71. Cacho D., Sobko Y. Fire Situation in Case of RC Members by Sika CFRP Strengthening. (2020). Lecture Notes in Civil Engineering, 47, pp. 436 - 443. Doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7\_55
72. Hladyshev, D., et al. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions. International Science Group, 2023.
73. Kornlyo, I., O. Gnyр, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).

74. Березюк, О. В. Визначення регресійних залежностей річних об'ємів утворення твердих побутових відходів від основних факторів впливу. Київський національний університет будівництва і архітектури, 2011.
75. Hladyshch, D., et al. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture. International Science Group, 2023.
76. Лемешев, М. С. "Строительные изделия с использованием промышленных отходов." Тюменский индустриальный университет, 2017.
77. Beresjuk, O., et al. Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. Vol. 1. International Science Group, 2022.
78. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc–International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
79. Березюк, О. В., М. С. Лемешев, and В. П. Ковальський. "Будівельні вироби з механо-активованих промислових, побутових відходів." (2023).
80. Kazachiner, O., Boychuk, Y., and Halii, A. "Theoretical foundations of pedagogy and education." etc. International Science Group (2022): 602.
81. Березюк, О. В. Підвищення ефективності пресування твердих побутових відходів за рахунок видалення вологи. Національний технічний університет" Харківський Політехнічний Інститут", 2010.
82. Березюк, "Математичне моделювання прогнозування обсягів продукування будівельних відходів в різних країнах світу." Вісник Вінницького політехнічного інституту 3 (2021): 41-46.
83. Усатюк, В. В. Перспективы использования техногенных отходов в области строительных материалов. Тюменский индустриальный университет, 2017.
84. Beresjuk, O., et al. "Prognose des volumens von gebäudeabfällen." Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. 1.1: 13– 19. (2022).
85. Lemeshev, M., O. Bereziuk, and K. Sivak. "Features of the use of industrial waste in the field of building materials." Scientific foundations in research in Engineering. 1.2: 25–32. (2022).
86. Березюк, О. В. "Динаміка утворення відходів будівництва і знесення у Вінницькій області." Вісник Вінницького політехнічного інституту 1 (2021): 37-41
87. Demchyna, V., et al. Scientific foundations of solving engineering tasks and problems. Vol. 2. International Science Group, 2021.
88. Лемешев, М. С., et al. "Перспективи використання техногенної сировини при виробництві композиційних вяжучих." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. № 2: 36-45. (2022).

89. 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.
90. Лемешев М. С. Комплексне використання промислових відходів в будівельній галузі / М. С. Лемешев // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р.
91. Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021
92. Lemeshev, M., et al. "Complex binder based on industrial man-made waste." Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: 51–59. (2023).
93. Медведь, Я. О. Промислові відходи–альтернатива традиційним природним ресурсам. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
94. Лемешев, М. С., Сівак, К. К., Стаднійчук, М. Ю. (2021). Сучасні підходи комплексної переробки промислових техногенних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 31[2), 37-44.
95. Stadniychuk, M. Composite materials based on man-made waste. ВНТУ, 2021.
96. 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.
97. Bereziuk, O., et al. "Ukrainian prospects for landfill gas production at landfills." Theoretical aspects of modern engineering: 58-65. (2020).
98. 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.
99. Lemeshev, M., O. Khrystych, and D. Cherepakha. "Perspective direction of recycling of industrial waste in the technology of production of building materials." (2020).
100. Лемешев, М. С. Дрібнозернистий бетон з модифікованим заповнювачем техногенного походження / М. С. Лемешев, О. В. Христинч, О. В. Березюк // Materiały XI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Naukowa przestrzeń Europy – 2015». – Przemysł (Poland) : Nauka i studia, 2015. – Vol. 23 : Ekologia. Geografia i geologia. Budownictwo i architektura. Chemia i chemiczne technologie. – S. 56-58.
101. Черепакха, Д. В. Використання промислових техногенних відходів Вінниччини для виготовлення будівельних виробів. ВНТУ, 2019.

102. Lemeshev, M., et al. "Use of industrial waste in the construction industry." Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture: 19–25. (2023).
103. Boiko, T., et al. Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems. Vol. 3. International Science Group, 2021
104. Лемешев, М. С. "Антистатичні покриття із бетелу-м." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: 217-223. (2004).
105. Вишнеvский, А. В. Использование металлических отходов в композиционных электропроводных бетонах. Тюменский индустриальный университет, 2011.
106. Іванов, О. А. Перспективи утилізації техногенних відходів у будівельній галузі. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
107. Bereziuk, O., D. Cherepakha. "Forecasting the volume of construction waste." (2021)
108. Sivak, R. Features of processing of technogenic industrial waste in the construction industry. ВНТУ, 2021.
109. Stadniychuk, M., Composite conducted concrete for special purposes. Національний університет "Львівська політехніка", 2023.
110. Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 p. (2020).
111. Стаднійчук, М. С. Industrial waste recycling. Diss. ВНТУ, 2021.
112. Лемішко, К. К. Особливості використання техногенних відходів в промисловості будівельних матеріалів. Академія технічних наук України, 2019.
113. Стаднійчук, М. Ю. "Использование промышленных отходов в строительной отрасли." International Science Group, 2021.
114. Палагнюк, С. В. Композиционные материалы полифункционального назначения. Тюменский индустриальный университет, 2012.
115. Stadniychuk, M., Obtaining active mineral additives from industrial waste. Національний університет "Львівська політехніка", 2023.
116. Bereziuk, O., et al. "Features of studying the disciplines of the cycle of safety of life activity by future specialists-builders." Theoretical and scientific foundations of pedagogy and education: collective monograph. 5.2: 169–176. (2022).
117. Sivak, K. Use of industrial waste for increased experimental properties in construction. Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2023.
118. Лемішко, К. К. Переробка промислових техногенних відходів виробництва. Академія технічних наук України, 2018.

119. Chau K.T. Analytic methods in geomechanics. CRC Press, 2013 г., 445 pp., ISBN: 978-1-4665-5589-1.
120. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. [Електронний ресурс] <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10969853>
121. Шаповал В. Г. Методи розрахунку міцності ґрунтових основ. [Електронний ресурс] <https://ir.nmu.org.ua/jspui/bitstream/123456789/149715/10/glava%206.pdf>
122. Гінзбург Л. К. Рекомендації щодо вибору методів розрахунку коефіцієнта стійкості схилу та зсувного тиску. Центральне бюро науково-технічної інформації Москва - 1986 - 122 с.
123. Соколовський В. В. Статика сипучого середовища. М.: Наука, 1990. – 272 с. - ISBN: 5-02-000187-2
124. Національний стандарт України. ДБН В.2.1-10-2018. Основи та фундаменти
125. Національний стандарт України. ДБН В.1.1-46:2017. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів, та обвалів.
126. Національний стандарт України. Зміна №1 до ДБН В.2.1-10-2009 Пальові фундаменти
127. Національний стандарт України. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення
128. Метод скінченних різниць. Вікіпедія. [Електронний ресурс]. [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4\\_%D1%81%D0%BA%D1%96%D0%BD%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%85\\_%D1%80%D1%96%D0%B7%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8C](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D1%81%D0%BA%D1%96%D0%BD%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D1%80%D1%96%D0%B7%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8C)
129. Korn, G. and Korn, T. (1961) Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. McGraw-Hill, New York-Toronto- London- 1130 pp.
130. Collocation method. Wikipedia. [Електронний ресурс]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Collocation\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Collocation_method)
131. Крауч С., Старфілд А. Методи граничних елементів у механіці твердого тіла. - М.: Світ, 1987. - 328 с.
132. Шаповал В. Г. Варіаційні методи граничних елементів та сплайнів у контактних завданнях: монографія /В. Г. Шаповал, А. В. Шаповал, Б. В. Моркляник, В. С. Андреев. – Львів: Міністерство освіти та науки України, Національний гірничий університет, 2016. – 96 с. - ISBN 978-617-518-141-7.
133. Vermeer, P.A. & H. van Langen 1989. Soil collapse computations with finite elements. Ingenieur-Archiv 59:221-236.
134. Технічна та довідкова література та навчальні посібники з програмних комплексів ЛІРА-САПР, САПФІР, МОНОМАХ та комп'ютерних технологій проектування. [Електронний ресурс]. <https://lira.land/books/>

135. Vozniuk L. Selection of a Variant Steel Space Truss Structure Based on the Bioenergetic Method // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2024. – Vol. : 807: 2nd International conference on Smart technologies in urban engineering, STUE 2023, 8–10 June 2023, online. – P. 104–116.
136. Lachowicz M., Shmukle V., Kot H., Vozniuk L., Demchyna K., Use of innovative solutions in the area of construction process planning [Електронний ресурс] // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2949, iss. 1 : XI International scientific session on Applied mechanics, 18 November 2022, Bydgoszcz, Poland.
137. Vozniuk L. I. Vybir ratsionalnoi formy konusnoi stalevoi strukturnoi konstruktsii iz vykorystanniam bioenerhetychnoho metodu // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy : zbirnyk naukovykh prats. – 2023. – Vyp. 43. – S. 118–124.
138. Shmukler V. S., Vozniuk L. I., Berezhna K. V. Enerhetychnyi portret konstruktyvnoi systemy yak kryterii variantnoho proektuvannia // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. – 2022. – Vyp. 98. – S. 136–143.
139. Vozniuk, K. Horbatiuk, O. Sarvadi, M. Haints, A. Hetman, I. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: колективна монографія / D. Hladyshev, M. Brodskyi, L. Lisnykh, L. Mysak, P. Mysak. – Boston: Primedia eLaunch, 2023. – 461 с. 6.
140. <https://www.archdaily.com/880461/excelsior-springs-community-center-fs-architecture>
141. [https://www.archdaily.com/804903/the-street-ratchada-architectkidd?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.com/804903/the-street-ratchada-architectkidd?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)
142. <https://www.dezeen.com/2011/03/25/rehabilitation-centre-groot-klimmendaal-by-architectenbureau-koen-van-velsen/>
143. [https://buduemo.com/ua/news/building\\_materials/construction-of-metal-structures-in-ukraine.html](https://buduemo.com/ua/news/building_materials/construction-of-metal-structures-in-ukraine.html)
144. <https://rautagroup.com/uk/product/sp2d-w-energy-uk/>
145. <https://rautagroup.com/uk/product/spc-w-uk/>
146. <https://rautagroup.com/ru/product/primo-plana-10/>
147. <https://rautagroup.com/uk/product/primo-skyline-150-uk/>
148. Vozniuk L. I. Vybir ratsionalnoi formy konusnoi stalevoi strukturnoi konstruktsii iz vykorystanniam bioenerhetychnoho metodu // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy : zbirnyk naukovykh prats. – 2023. – Vyp. 43. – P. 118–124.

149. Vozniuk L. Selection of a Variant Steel Space Truss Structure Based on the Bioenergetic Method // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2024. – Vol. : 807: 2nd International conference on Smart technologies in urban engineering, STUE 2023, 8–10 June 2023, online. – P. 104–116.
150. Lachowicz M., Shmukler V., Kot H., Vozniuk L., Demchyna K., Use of innovative solutions in the area of construction process planning // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2949, iss. 1 : XI International scientific session on Applied mechanics, 18 November 2022, Bydgoszcz, Poland.
151. Shmukler V. S., Vozniuk L. I., Berezhna K. V. Enerhetychnyi portret konstruktyvnoi systemy yak kryterii variantnoho proektuvannia // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. – 2022. – Vyp. 98. – P. 136–143.
152. Vozniuk, K. Horbatiuk, O. Sarvadi, M. Haints, A. Hetman, I. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: колективна монографія / D. Hladyshev, M. Brodskyi, L. Lisnykh, L. Mysak, P. Mysak. – Boston: Primedia eLaunch, 2023. – 461 P. 6.
153. [https://www.archdaily.com/944794/shenzhen-baoan-district-maternal-and-child-health-hospital-capol?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/944794/shenzhen-baoan-district-maternal-and-child-health-hospital-capol?ad_source=search&ad_medium=projects_tab).
154. <https://www.tlaidesign.com/shenzhen-baoan-maternal-and-child-health-hospital-capol.html>.
155. [https://www.archdaily.com/catalog/us/products/34087/atrium-in-az-alma-hospital-deforche-construction-group?ad\\_source=neufert&ad\\_medium=gallery&ad\\_name=close-gallery](https://www.archdaily.com/catalog/us/products/34087/atrium-in-az-alma-hospital-deforche-construction-group?ad_source=neufert&ad_medium=gallery&ad_name=close-gallery)
156. <https://deltalight.com/en/projects/az-alma-eeklo-be-002971>
157. <https://m4architecten.be/portfolio/az-alma-eeklo/?portfolioCats=36%2C8%2C10%2C37%2C13%2C38%2C39%2C16%2C42%2C40>
158. <https://www.archdaily.com/catalog/us/companies/5442/deforche-construction-group>
159. [https://www.deforcheconstructiongroup.com/en?utm\\_medium=website&utm\\_source=archdaily.com](https://www.deforcheconstructiongroup.com/en?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com)
160. <https://www.forzon.com/en/realisations/az-alma>
161. [https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/05/HBN\\_00-01-2.pdf](https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/05/HBN_00-01-2.pdf)
162. <https://www.cfm.va.gov/til/dGuide/dgPRC.pdf>
163. [https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/05/Health\\_Building\\_Note\\_00-04\\_-\\_Circulation\\_and\\_communication\\_spaces\\_-\\_updated\\_April\\_2013.pdf](https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/05/Health_Building_Note_00-04_-_Circulation_and_communication_spaces_-_updated_April_2013.pdf)

164. Big City Lab " Albom bezbarierykh rishen "
165. DBN V.2.2-13-2003 "Sportyvni ta fizkulturno-ozdorovchi sporudy"
166. DBN V.2.2-9:2018 «HROMADSKI BUDYNKY TA SPORUDY OSNOVNI POLOZHENNIA»
167. DBN V.2.2-40:2018 Inkliuzyvnist budivel i sporud. Osnovni polozhennia
168. Vozniuk L. Selection of a Variant Steel Space Truss Structure Based on the Bioenergetic Method // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2024. – Vol. : 807 : 2nd International conference on Smart technologies in urban engineering, STUE 2023, 8–10 June 2023, online. – P. 104–116.
169. Lachowicz M., Shmukle V., Kot H., Vozniuk L., Demchyna K., Use of innovative solutions in the area of construction process planning [Електронний ресурс] // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2949, iss. 1 : XI International scientific session on Applied mechanics, 18 November 2022, Bydgoszcz, Poland.
170. Вознюк Л. І. Вибір раціональної форми конусної сталеві структурної конструкції із використанням біоенергетичного методу // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 43. – С. 118–124.
171. Шмуклер В. С., Вознюк Л. І., Бережна К. В. Енергетичний портрет конструктивної системи як критерій варіантного проектування // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2022. – Вип. 98. – С. 136–143.
172. Vozniuk, K. Horbatiuk, O. Sarvadi, M. Haints, A. Hetman, I. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: колективна монографія / D. Hladyshev, M. Brodskyi, L. Lisnykh, L. Mysak, P. Mysak. – Boston: Primedia eLaunch, 2023. – 461 с. 6.
173. <https://www.archdaily.com/880461/excelsior-springs-community-center-fs-architecture>
174. [https://www.archdaily.com/804903/the-street-ratchada-architectkidd?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.com/804903/the-street-ratchada-architectkidd?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)
175. <https://www.dezeen.com/2011/03/25/rehabilitation-centre-groot-klimmendaal-by-architectenbureau-koen-van-velsen/>
176. [https://buduemo.com/ua/news/building\\_materials/construction-of-metal-structures-in-ukraine.html](https://buduemo.com/ua/news/building_materials/construction-of-metal-structures-in-ukraine.html)
177. <https://rautagroup.com/uk/product/sp2d-w-energy-uk/>
178. <https://rautagroup.com/uk/product/spc-w-uk/>
179. <https://rautagroup.com/ru/product/primo-plana-10/>
180. <https://rautagroup.com/uk/product/primo-skyline-150-uk/>



181. [https://www.archdaily.com/474130/vandhalla-egmont-rehabilitation-centre-cubo-arkitekter-force4-architects?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.com/474130/vandhalla-egmont-rehabilitation-centre-cubo-arkitekter-force4-architects?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)
182. <https://uscc.ua/kalkulyator-gabaritiv-perekrittya-stalevogo-karkasa>
183. [https://resources.fina.org/fina/document/2022/02/08/77c3058d-b549-4543-8524-ad51a857864e/210805-Facilities-Rules\\_clean.pdf](https://resources.fina.org/fina/document/2022/02/08/77c3058d-b549-4543-8524-ad51a857864e/210805-Facilities-Rules_clean.pdf)
184. ДБН В.2.2-13-2003 "Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди"
185. ДБН В.2.2-9:2018 «ГРОМАДСЬКІ БУДИНКИ ТА СПОРУДИ ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ»
186. ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції. Норми проектування"
187. Konkursni zavdannia. STEEL FREEDOM. <https://steelfreedom.ua/conditions>
188. UTsSB. Budivnytstvo metalokonstruktsii v Ukraini | Ukrainyskyi tseentr stalevoho budivnytstva | UTsSB. <https://uscc.ua/pro-utssb>
189. Luco, A. Unileão School Veterinary Hospital / Lins Arquitetos Associados. ArchDaily. [https://www.archdaily.com/1011616/unileao-school-veterinary-hospital-lins-arquitetos-associados?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/1011616/unileao-school-veterinary-hospital-lins-arquitetos-associados?ad_source=search&ad_medium=projects_tab)
190. Caballero, P.. Educan School for Dogs, Humans and Other Species / Eeestudio + Lys Villalba. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/972435/educan-school-for-dogs-humans-and-other-species-eeestudio-plus-lys-villalba>
191. DBN V.2.6-198:2014. Stalevi konstruktsii. Normy proektuvannia. – К.: Minrehion Ukrainy, 2014. – 199 s. [in Ukrainian].
192. DSTU B V.1.2-3:2006 Prohyny i peremishchennia. Vymohy proektuvannia. – 10 s. [in Ukrainian].
193. Vozniuk L., Horbatiuk K., Sarvadi O., Heinz M., Hetman A., Overview of steel space truss structures. Lviv Polytechnic National University.
194. Vozniuk L. Selection of a Variant Steel Space Truss Structure Based on the Bioenergetic Method // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2024. – Vol. : 807: 2nd International conference on Smart technologies in urban engineering, STUE 2023, 8–10 June 2023, online. – P. 104–116.
195. Lachowicz M., Shmukler V., Kot H., Vozniuk L., Demchyna K., Use of innovative solutions in the area of construction process planning // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2949, iss. 1 : XI International scientific session on Applied mechanics, 18 November 2022, Bydgoszcz, Poland.
196. ДБН В.2.6-161-2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення.» / Київ, «Укрархбудінформ» 2017.
197. Михайловський Д.В. / Розрахунок панельних будинків з поперечно-клеєної деревини // Монографія

198. Bidakov A.N., Pustovoitova O.M., Raspopov I.A., Strashko B.A / Comparative analysis of the Tymoshenko method and the  $\gamma$ -method for calculation of CLT panels strength by bending // East European Scientific Journal #7(71), 2021. – С. 33-39.
199. Бідаков А. М., Распопов Є. А., Пустовойтова О. М., Страшко Б. О. / Переваги та недоліки Г-методу для розрахунку міцності ПКД панелей при згині // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2019. – № 1. – С. 12-19.
200. Бідаков А. М., Распопов Є. А., Пустовойтова О. М., Страшко Б. О. / Міцність ПКД панелей при зсуві та крученні. // Технічні науки та технології. 2020. № 2 (20). С. 315-322
201. Бідаков А. М., Распопов Є. А., Пустовойтова О. М., Страшко Б. О. / Міцність ПКД панелей при розтягу та стиску вздовж волокон // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2020. – № 1. – С. 5-10.
202. Бідаков А. М., Распопов Є. А., Пустовойтова О. М., Страшко Б. О. / Особливості методу зсувної аналогії для розрахунку міцності ПКД панелей під час згину// Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2020, № 2 (263-264), ISSN 2312-2676
203. Михайловський Д.В., Комар А.А. / Перехресно клеєдощаті панелі та методи їх розрахунку / Будівельні конструкції: теорія і практика. - 2018. - Вип. 2. - С. 146-153.
204. ANSI / APA PRG 320-2019. Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber
205. Wieruszewski M., Mazela B. / Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Form of Construction Wood // DRVNA INDUSTRIJA 68 (4) 359-367 (2017)
206. Kurzinski S., Crovella P., Kremer P. / Overview of Cross-Laminated Timber (CLT) and Timber Structure Standards Across the World / Mass Timber Construction Journal, 2022, Volume 5
207. Demirci C., Málaga-Chuquitaype C., Macorini L. / Seismic behaviour and design of tall cross-laminated timber buildings // 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE 2017
208. CLT handbook : cross-laminated timber / edited by Erol Karacabeyli, Brad Douglas. U.S. ed.
209. Red Stag CLT Design Guide V1.1
210. New Zealand Design Guide Version 2.2 - Designing with XLam Cross Laminated Timber
211. European Technical Assessment ETA-21/0914 of 2021/11/25
212. Gerashchenko O. A. Fundamentals of thermometry. Kyiv: Naukova dumka, 1971. 192 p.

213. Van der Graaf F. Heat Flux Sensor. Thermal Sensors. VCH Verlagsgesellschaft mbh. Weinheim, FRG. 1990. Chapter 8, Vol. 4. 28 p.
214. Hrishchenko T. H., Dekusha L. V., Vorobiov L. I. et al. THERMOMETRY: theory, metrology, practice: book 1. Methods and means of measuring of heat flux. Kyiv: Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2017. 439 p.
215. Vorobiov L., Dekusha L., Kovtun S. New models of heat flux sensors for monitoring and diagnostic systems of power equipment. Industrial heat engineering. 2016. Vol. 38, № 5. P. 86–97. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.5.2016.10>.
216. Hotra O., Dekusha O. A device for thermal conductivity measurement based on the method of local heat influence. Przegląd Elektrotechniczny. 2012. Vol. 88, No. 5a. P. 223–226.
217. Burova Z. A., Dekusha O. L. Heat-metrical devices for insulation materials quality control. Naucnyi vzglad v budusee. 2016. Iss. 4, Vol. 9. P. 83–86. DOI: 10.21893/2415-7538-2016-04-9-194.
218. Kovtun S. I. Metrological support of heat flux sensors for control of heat load on the aerodynamic payload fairing of a launch-vehicle. Mechanics of Gyroscopic Systems. 2017. № 33. P. 58–63. DOI: 10.20535/0203-3771332017119376.
219. Vorobiov L. Methods and Means of Quasi-Differential Calorimetry. Metrology and instruments. Kharkiv, 2018. № 1. P. 17–25.
220. Duritsky I. A., Ogorodnik S. S., Popov V. D. et al. In-reactor integrated heat flux calorimeter for power reactors. Kiev: KIYI, 1982. 14 p.
221. Petrov V. V., Pupkov Y. A. Radiation resistance of insulating materials of accelerator magnetic systems. Technical Physics. 2016. Vol. 86, Iss. 7. P. 65–68.
222. Dubrovsky V.B. Radiation resistance of materials: reference book / ed. V. B. Dubrovsky. Moscow: Atomizdat, 1973. 264 p.
223. Dekusha L. V., Shmarov Y.V., Vorobiov L.Y., Hryshchenko T. H. Heat flux sensor: pat. 102475 Ukraine: IPK G01K 17/08; publ. 10.07.2013, Iss. № 13.
224. Temperature measurements: reference book / O. A. Herashchenko, A. N. Hordov, B. I. Stadnik, V. I. Lah, Ya. T. Lutsik, N. A. Yaryshev, A. K. Eremina; edit. Herashchenko O. A. Kyiv: Naukova dumka, 1989. 704 p.
225. Titov V.V., Khutoretskyi G.M., Zagorodnaya G.A., Varatian G.P. Turbogenerators. Calculation and construction. Leningrad: Energiia, 1967. 895 p. (Rus.)
226. Khvalin D.I., Dovydkov S.A. Influence of constructive factors on the temperature distribution in end zone of powerful electrical machine. East European Scientific Journal. 2022. Vol. 1. № 2(78). P. 54–58.

227. Vygovskiy O.V., Hvalin D.I., Mystetskiy V.A. Influence of moisture and hydrogen purity on the reliability of powerful electrical machines. *Problemi bezpeki atomnikh elektrostantsiy i Chornobilya*. 2017. № 29. P. 14–21. (Ukr.)
228. Kuchynskiy K.A., Kramarskiy V.A., Hvalin D.I., Mystetskiy V.A. Thermomechanical parameters of stator winding insulation of a turbogenerator with controllable cooling. *East European Scientific Journal*. 2020. Vol. 3. № 1(52). P. 74–77.
229. Kensytskiy O.G., Hvalin D.I. Cooling system optimization and load capacity increase of Dniester HAPP. *Hydroenergetyka Ukrainy*. 2014. № 1. P. 1–4. (Ukr.)
230. Kensytskiy O.G., Hvalin D.I. A heating of stator winding turbogenerator for failure the circulation of refrigerant. *Problemi bezpeki atomnikh elektrostantsiy i Chornobilya*. 2018. № 31. P. 31–35. (Ukr.)
231. Azbukhin Yu.I., Avrukh V.Yu. Modernization of turbogenerators. Moskva: Energiia, 1980. 232 p. (Rus.)
232. Khutoretskiy G.M., Tokov M.I., Tolvinskaya E.V. Turbogenerators design. Leningrad: Energoatomizdat, 1987. 256 p. (Rus.)
233. Danilevich Ya.B., Pipko R.M. Magnetic field in the stator core end zone of alternating current electrical machine taking into account the influence of leakage slot. *Elektrotehnika*. 1982. № 9. P. 36–39. (Rus.)
234. Kostyaev B.V., Ptashkin A.V. About heat the stator core end packets of large turbogenerators at the condition of reactive power consumption. *Elektricheskiye stantsii*. 1979. № 5. P. 40–44. (Rus.)
235. Smorodin V.I., Karatsuba A.S., Rudenko L.N. et al. Some features of electromagnetic processes on the turbogenerator stator end. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 1983. № 3. P. 65–72. (Rus.)
236. Titko A.I., Fedorenko G.M., Livshits A.L., Kobzar K.A. Tangential unevenness of electromagnetic and thermal characteristics in the turbogenerator end packets for changes load. *Hydroenergetyka Ukrainy*. 2012. № 3. P. 48–58. (Rus.)
237. Kensytskiy O.G., Hvalin D.I., Sorokina N.L. Reduction of heat unevenness for stator core end packet of powerful turbogenerator. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. 2018. № 49. P. 27–32. (Ukr.)
238. Schastliviy G.G., Fedorenko G.M., Tereshonkov V.A., Vygovskiy V.I. Electrical machines with a liquid cooling. Kiev: Naukova dumka, 1985. 288 p. (Rus.)
239. Postnikov I.M., Stanislavskiy L.Ya., Schastliviy G.G. Electromagnetic and thermal processes in the end parts of powerful turbogenerators. Kiev: Naukova dumka, 1971. 360 p. (Rus.)

240. Smorodin V.I. Experimental researches and analysis of electromagnetic processes features in the stators end zones of powerful turbogenerators. Prepr. № 709. Kiev: Instytut elektrodynamiky AN USSR, 1991. 28 p. (Rus.)
241. Hawley R. End-region analysis for large generators. *Electrical Times*. 1967. Vol. 152. № 20. P. 771–774.
242. Kensytskyi O.G., Hvalin D.I. The end zone turbogenerator electromagnetic field for changes the reactive load. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2018. № 1. P. 62–68. (Ukr.)
243. Kensytskyi O.G., Kramarskyi V.A., Kobzar K.O., Hvalin D.I. Study of efficiency the design of a stator core end zone turbogenerator. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. 2018. № 50. P. 56–62. (Ukr.)
244. Kensytskyi O.G., Kramarskyi V.A., Kobzar K.O., Hvalin D.I. Study of distribution the electromagnetic field and temperature in a stator core end zone of turbogenerator. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. 2018. № 51. P. 47–53. (Ukr.)
245. Kensytskyi O.G., Kramarskyi V.A., Kobzar K.O., Hvalin D.I. Heating of stator turbogenerator end zone at different variants of its constructive implementation. *East European Scientific Journal*. 2018. Vol. 1. № 9(37). P. 46–51. (Ukr.)
246. Kensytskyi O.G., Hvalin D.I., Vygovskyi O.V. Simulation the electromagnetic and heat process in a stator end zone of turbogenerator. *East European Scientific Journal*. 2018. Vol. 2. № 10(38). P. 41–47. (Rus.)
247. Lindorf L.S., Mamikonyants L.G. Turbogenerators operation with direct cooling. Moskva: Energiia, 1972. 352 p. (Rus.)
248. Khvalin D.I., Dovydkov S.A. A brief overview for main stages of technological progress in turbogenerator construction. *Colloquium-journal*. 2023. Vol. 1. № 3(162). P. 33–37.
249. Zozulin Yu.V., Antonov O.Ie., Bychik V.M., Borichevskyi A.M., Kobzar K.O. et al. The creation of new types and modernization of existing turbogenerators for thermal power station. Kharkiv: PF Kolehium, 2011. 228 p. (Ukr.)
250. Kuchynskyi K.A., Kramarskyi V.A., Hvalin D.I., Mystetskyi V.A. Residual life and heat control of a turbogenerator stator winding insulation. *East European Scientific Journal*. 2020. Vol. 5. № 2(54). P. 63–66.
251. COMSOL Multiphysics Modeling and Simulation Software. Available at: <http://www.comsol.com/>.
252. Hvalin D.I., Vygovskyi O.V. The computer simulation of powerful electrical machines. Conference proceedings of the II International scientific and practical conference [«Perspective ways of scientific knowledge progress»], (Kyiv, January 26–27, 2019) / International Center for Science and Research. 2019. P. 34–36. (Ukr.)

253. Milykh V.I., Vysochyn A.I. Calculation the three-dimensional magnetic field distribution of powerful turbogenerator in idling conditions. *Elektrotehnika i elektromekhanika*. 2011. № 3. P. 17–22. (Rus.)
254. Milykh V.I., Polyakova N.V. The directions and phase relations system of electromagnetic quantities for numerical calculations of magnetic fields in a turbogenerator. *Elektrotehnika i elektromekhanika*. 2011. № 5. P. 33–38. (Rus.)
255. Milykh V.I., Polyakova N.V. Numerical calculations of the magnetic fields in a turbogenerators end zone. *Vistnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Ser.: Electrical Machines and Electromechanical Energy Conversion. 2015. № 5(1114), P. 3–11. (Rus.)
256. Schastlivyi G.G., Fedorenko G.M., Vygovskiy V.I. Turbo- and hydrogenerators at the variable loading graphics. Kiev: Naukova dumka, 1985. 208 p. (Rus.)
257. Fujita M., Ueda T., Tokumasu T. Eddy current analysis in the stator end structures of large capacity turbine generators. *International Conference on Electrical Machines and Systems*. Nov. 2009, Tokyo, Japan. P. 1–6.
258. Li Wei-li, Guang Chunwei, Zheng Ping. Calculation of a complex 3-D model of a turbogenerator with end region regarding electrical losses, cooling, and heating. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2010. Vol. 26. № 4. P. 1073–1080.
259. Schastlivyi G.G., Fedorenko G.M., Vygovskiy V.I. Apparatus for measurement heat transfer in the electrical machines and devices. *Elektrotekhnicheskaya promyshlennost*. Ser.: Electrical Machines. 1978, № 7. P. 10–13. (Rus.)
260. Vaskovskiy Yu.M. The field analysis of electrical machine. Kiev: NTUU «KPI», 2007. 191 p. (Ukr.)
261. Kensytskiy O.G., Hvalin D.I. Distribution of electromagnetic field in the end zone of turbogenerator under nominal load condition. *Tekhnichni visti*. 2018. № 1(47), 2(48). P. 11–14. (Ukr.)
262. ДСТУ ISO 14644 – 1: 2009. Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 1. Класифікація чистоти повітря. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 23 с. – (Національний стандарт України).
263. Lykov M.V. *Drying in the chemical industry*. – М.: Khimiya. - 1970. – 432 p.
264. Kindzera D.P., Atamanyuk V.M., Khanyk Y.M. Features of drying coal in a dense layer // *Bulletin of Lviv Polytechnic National University "Chemistry, Technology of Substances and their Application"*. - Lviv: 2003, № 488, - P. 195 - 200.
265. Patent of Ukraine for invention No. 60587A. Installation of filtration drying of bulk materials / Atamaniuk V.M., Khanyk Y.M., Kindzera D.P., Duleba V.P. *Bulletin* № 10, 15.10.03.

266. Simak, D. M., & Atamanyuk, V. M. (2012). Mass transfer in the first period of filtration drying of fine materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(6(54)), 14-22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2011.2289>
267. Kaletnik, G., Tsurkan, O., Rimar, T., & Stanislavchuk, O. (2020). Determination of the kinetics of the process of pumpkin seeds vibrational convective drying. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(8 (103)), 50–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.195203>
268. Dudarev I., Zaporozhets O., Kuzmin O., Niemirich O., Omelchenko M. Implementation of a safety and quality control system for sauce production. *Modern research in science and education. The 3rd International scientific and practical conference (November 9-11, 2023, Chicago)*. 2023. pp. 188–191.
269. Bilousova L., Pchelenko A., Omelchenko M., Kuzmin O. Ensuring food security under martial law. Chapter 8. *Ensuring national and international security of socio-economic systems. Current issues of the management of socio-economic systems in terms of globalization challenges: scientific monograph*. Kosice, Slovensko. 2023. pp. 629–639.
270. Kuzmin O.V., Isaienko V.M. Development of effective technologies for waste processing of the food industry. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences: collective monograph*. Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”. 2020. P. 2. pp. 430–448.
271. Okazaki W.K., Turn S.Q., Flachsbart P.G. Characterization of food waste generators: A Hawaii case study. *Waste Management*. 2008. 28(12). pp. 2483–2494.
272. Majerska J., Michalska A., Figiel A. A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. pp. 207–219.
273. Lagorio A., Pinto R., Golini R. Food waste reduction in school canteens: Evidence from an Italian case. *Journal of Cleaner Production*. 2018. pp. 77–84.
274. Bhattacharya A., Fayezi S. Ameliorating food loss and waste in the supply chain through multi-stakeholder collaboration. *Industrial Marketing Management*. 2021. pp. 328–343.
275. Bohdanowicz P. European Hoteliers’ Environmental Attitudes Greening the Business. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*. 2005. pp. 188–204.
276. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. Order No. 590: On the approval of requirements for the development, implementation and application of permanent procedures based on the principles of the food safety management system (HACCP). 2012.
277. Codex Alimentarius. CAC/RCP 39-1993: Code of Hygienic Practice for Precooked and Cooked Foods in Mass Catering. 1993.

278. National standards body of Ukraine. DSTU ISO/TS 22002-2:2019 (ISO/TS 22002-2:2013, IDT): Prerequisite programmes on food safety. Part 2: Catering. Kyiv: State Agency for Standardization of Ukraine. 2019.
279. National standards body of Ukraine. DSTU ISO 22000:2019: Food safety management systems. Requirements for any organization in the food chain. 2019.
280. Zaporozhan A., Kuzmin O., Stukalska N. HACCP color coding in restaurants. Science, innovations and education: problems and prospects : The 14th International scientific and practical conference (August 25-27, 2022, Tokyo). 2022. pp. 86–89.
281. Giacomo C. Celiac disease: a comprehensive current review / Giacomo Caio<sup>1,2</sup>, Umberto Volta, Anna Sapone, Daniel A. Leffler, Roberto De Giorgio<sup>1</sup>, Carlo Catassi and Alessio Fasano // Caio et al. BMC Medicine: 19 March 2019 Accepted: 27 June 2019.
282. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 24.03.2021 No. 305 "On Approval of the Norms and Procedure for the Organization of Meals in Educational Institutions and Children's Health and Recreation Facilities".
283. Novikova O. V. Technology of production of bakery and flour confectionery products. Book. 1: Bakery production technology. – 2019.
284. Perez-Gregorio, M. R. et al. (2017). Chromatographic and mass spectrometry analysis of wheat flour prolamins, the causative compounds of celiac disease. Food & function, 8, 2712–2721. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7FO00266A>.
285. Optimization of the parameters of hydrothermal treatment of the model system of cheese product using vegetable additives / M. V. Obozna, V. V. Chagovets, L. O. Chagovets, F. V. Pertsevovoy // Progressive techniques and technologies of food production of restaurant industry and trade. – 2013. - Вyp. 1(2). – P. 164-172.
286. Державна служба статистики України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
287. Чукурна О.П. Технологія цінового позиціонування брендів // Науковий Вісник Херсонського державного університету. Серія: «Економічні науки». Випуск 17. Частина 4. – Херсон, 2016. – С. 68-72.
288. Окландер М.А., Чукурна О.П. Маркетингова цінова політика: підручник. Київ: Центр учбової літератури, 2021. 284 с.
289. Чукурна О.П., Чмир В.О., Егорова К.П. Вплив маркетингових досліджень споживачів снєків на цінове позиціонування // Молодий вчений, Серія: «Економічні науки». Випуск № 4 (44), 2017. – С. 780-784.
290. Страшинська Л. В., Ніколаєнко І. В. Маркетингові аспекти розвитку ринку снєків в Україні // Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2017. Т. 23, No 1. С. 75–84.



291. Дорошко В. Сучасні технології виробництва рибних снєків. Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Stockholm, Sweden, 2023, Pp. 227-229. URL: <https://eu-conf.com/events/goal-and-the-role-of-world-science-in-life/>
292. Виготовлення і зберігання рибних снєків [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://osushiteli.ua/uk/article/vygotovlennya-i-zberigannya-rybnyh-snekiv>.
293. Баль-Прилипко Л.В. Актуальні проблеми рибопереробної галузі: монографія / Баль-Прилипко Л. В., Старкова Е. Р., Лебський С. О., Андрощук О. С. - К.: «Компринт». 2018, 214 с.
294. Волхова, Т., & Голембовская, Н. (2021). STATE AND PROSPECTS OF FISH MARKET DEVELOPMENT IN UKRAINE. *SWorldJournal*, 1(07-01), 44–50. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2021-07-01-013>.
295. Соловей, О.С. Удосконалення технології рибних снєків на основі лосося зі зменшеним вмістом солі / О.С. Соловей, В.В. Шутюк, О.Л. Нечаєв // Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності: матеріали VIII міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції, 12 вересня 2019 р., м. Київ. – К.: НУХТ, 2019. – С. 85.
296. Гирка О. І. Удосконалення технології переробки риби і морепродуктів [Електронний ресурс] / О. І. Гирка, О. Я. Родак, М. П. Бодак – Режим доступу до ресурсу: [http://www.confcontact.com/2015-nauka-v-informatsionnomprostranstve/tn11\\_girka.htm](http://www.confcontact.com/2015-nauka-v-informatsionnomprostranstve/tn11_girka.htm).
297. Як сушать рибу на виробництві: обладнання та особливості процесів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kherson-news.net/lang/uk/how-industrial-drying-of-fish-equipment-and-peculiarities-of-the-processes.html>.
298. Environment Protection Authority of Australia. 2012. Classification and management of contaminated soil for disposal. Information Bulletin 105. Hobart, TAS 7001 Australia.
299. Canadian Ministry of the Environment (CME). 2009. Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use under Part XV.1 of the Environmental Protection Act.
300. United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2002. Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C. <http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/index.htm>
301. Environmental Protection Ministry of China (EPMC). 2014. National survey report of soil contamination status of China. Environmental Protection Ministry of China, Beijing, China.

302. Environmental Protection Ministry of China (EPMC). 2015. Standards of soil environmental quality of agricultural land. Huangbanhang 69: Office of Environmental Protection Ministry of China, Beijing, China. European Environmental Agency (EEA), 2007. Progress in management of contaminated sites (CSI 015/LSI 003), <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators>
303. New Zealand Ministry for the Environment (NZME). 2012. Users' Guide: National Environmental Standard for Assessing and Managing Contaminants in Soil to Protect Human Health. Wellington: Ministry for the Environment. [www.esdat.net](http://www.esdat.net).
304. Tanzania Minister of State (TMS). 2007 The environmental management (soil quality standards) regulations, Vice President's Office – Environment.
305. United States Environmental Protection Agency (US EPA), 2014. Cleaning up the Nation's Hazardous Wastes Sites. <http://www.epa.gov/superfund/>
306. Алексеенко В. А. Геохимия ландшафта и окружающая среда / В. А. Алексеенко -К.:Надра. 1990 – 142 с.
307. Цветкова Н.Н. Особенности миграции органо – минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины – Д.: ДГУ,1992. – 236с.
308. Андреева И. В. Никель в растениях / И. В. Андреева, В. В. Говорина, Б. А. Ягодина // Агрехимия. – 2001. – № 3. – С. 82 – 94.
309. Цветкова Н. М. Екологічна оцінка природних едафотопів Присамар'я Дніпровського за вмістом нікелю / Н. М. Цеткова, М. С. Якуба // Питання біоіндикації та екології. – Вип. 15 (№2). – Запоріжжя, Дике Поле. – 2010. – С. 145 – 152.
310. Жовинский Э. Я. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э. Я. Жовинский, И. В. Кураева. – К.: Наукова думка, 2002. – 212 с.
311. Алексеенко В. А. Экологическая геохимия: Учебн. / В. А. Алексеенко – К.: Логос, 2000. – 627 с.
312. Белова Н. А. Естественные леса и степные почвы / Н. А. Белова, А. П. Травлещев. – Д.: Изд-во ДГУ, 1999. – 348 с.
313. Білявський Г. О. Основи екології: Підручник / Г. О. Білявський, Р. С. Фурдуй, І. Ю. Костіков. – 3-тє вид. – К.: Либідь, 2006. – 408 с.
314. Назаренко І.І. Пальчика С.М. Нікорич В.А. Грунтознавство: Підручник. – Чернівці, 2003. – 400 с.
315. Панас Р.М. Грунтознавство: Навчальний посібник. – Львів: «Новий Світ – 2000», 2005. – 372 с.
316. Фоновий вміст мікроелементів в ґрунтах України [А. І. Фатєєв, Я. В. Пащенко, С. А. Балюк та ін.]; за ред. А. І. Фатєєва, Я. В. Пащенко. – Харків, 2003. –120 с.

317. Сухарев С. М. Основи екології та охорони довкілля. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / С. М. Сухарев, С. Ю. Чундак, О. Ю. Сухарева. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 394 с.
318. Олег И. Е. Экологическая роль физических свойств лесных почв степного Приднепровья (лесорастительные условия, генезис, типология): дис. канд.биол. наук: 03.00.16 / И. Е. Олег, ДГУ – Д., 1996. – 249 с.
319. Цветкова Н.М. Спектральний аналіз ґрунтів: Посібник / Н.М.Цветкова, М.С. Якуба.– Д.: РВВ ДНУ, 2006. –64с.
320. Цветкова Н.Н. Закономерности распространения и содержания тяжелых металлов в почвогрунтах лесных биогеоценозов долинно-террасового ландшафта Присамарского мониторинга // Мониторинговые исследования лесных экосистем степной зоны, их охраны и рациональное использование. Днепропетровск. 1997.– 320с.
321. Цветкова Н. М. Біокругообіг речовин у біогеоценозах Присамар'я Дніпровського/ Н. М. Цветкова, М. С. Якуба. – Д.: РВВ ДНУ, 2008 –112 с.
322. Бельгард, А. Л. (1971). Степное лесоведение. Москва: Лесная промышленность.
323. Цветкова, Н.М., Якуба, М.С. (2006). Спектральний аналіз ґрунтів. Дніпропетровськ: ДНУ.
324. Sakizadeh, M., Antonio, J., & Martín, R. (2021). Spatial methods to analyze the relationship between Spanish soil properties and cadmium content. *Chemosphere*, 268, article 129347. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129347
325. Балюк, С. А., Лазебна, М. Є. (2009). Перелік основних нормативних документів у галузі ґрунтознавства, агрохімії та охорони ґрунтів. Технічний комітет з стандартизації ТК 142 «Ґрунтознавство».
326. Костишин, С. С., Руденко, С. С., Морозова, Т. В. (2008). Основи загальної екології: практичний курс. Чернівці: Книги.
327. Цветкова, Н. Н. (2013). Особенности миграции органо-минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины. Днепропетровск: Стенли.
328. Degryse, F., Smolders, E., Parker, D.R., 2009. Partitioning of metals (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) in soils: concepts, methodologies, prediction and applications – a review. *European Journal of Soil Science*. 60. doi: org/10.1111/j.1365-2389.2009.01142.x.
329. Травлеєв А. П., Белова Н. А. Деструктивні екологічні мережі та перспективи їх оптимізації // Питання степового лісознавства та лісової рекультивуації земель: Міжвуз. зб. наук. праць. Д.: РВВ ДДУ, 2000. – С. 5–7.

330. Цветкова Н.Н., Носовская Н.М., Самофалова Е.М. Характеристика биологического круговорота марганца в системе растение – почва степной целины и дубрав Присамарского стационара // Вопросы биологической диагностики лесных биогеоценозов Присамарья. Днепропетровск, 2000. – 315с.
331. Andrushchak I.E., Matviyev Yu.Ya., Androschuk I.V., Yashchuk A.A., Martsenyuk V.P. Peculiarities of Data Mining implementation algorithms in databases. Interuniversity collection (by fields of knowledge «Technical sciences») «Scientific notes» Issue No. 65, Lutsk. – 2019 – p. 4-8.
332. Chetverikov I. O., Petrenko A. I. Blockchain technology in the information protection system. Modeling and information systems in the economy: collection. of science pr. / Ministry of Education and Science of Ukraine, State Higher Secondary School «Kyiv. national economy University named after Vadim Hetman» [edited by: O. E. Kaminsky (res. editor) and others]. – Kyiv: KNEU, 2020. – Issue 99. pp. 162–169.
333. Chase B., Macbrough E. Analysis of the XRP ledger consensus protocol. Cornell University, 2018 – [Electronic resource]. – Access mode: <https://arxiv.org/abs/1802.07242>.
334. Puddu I., Dmitrienko A., Capkun S. How to forget without hard forks. IACR Cryptology, 2017. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://eprint.iacr.org/2017/106.pdf>.
335. Kwon J. Tendermint: Consensus without mining. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://github.com/tendermint/tendermint/wiki>.
336. Laurent Leloux. Blockchain from A to Z. Everything about the technology of the decade. – M. Eksmo, 2018. – 256 p.
337. Laponina O.R. Cryptographic fundamentals of security. – M.: Internet University of Information Technologies – INTUIT, 2004. – P. 320.
338. Martsenyuk V.P., Sverstyuk A.S., Andrushchak I.Ye., Rechun O.Yu. Components and key features of the analysis symmetric cryptocircuit. Scientific journal «Computer-integrated technologies: Education, science, production» Issue No. 50, Lutsk. – 2023 – p. 65-70.
339. Puthal D., Malik N., Mohanty S., Kougianos E. «Everything you Wanted to Know about the Blockchain», IEEE Consumer Electronics Magazine, Volume 7, Issue 4, July 2018, pp. 06–14.
340. What Is a Block in the Blockchain? – [Electronic resource]. – Access mode: <https://medium.com/datadriveninvestor/what-is-a-block-in-the-blockchain-c7a420270373>.

341. Xu, K., Wang, X., Hu, Z., & Zhang, Z. (2019, October). 3D face recognition based on twin neural network combining deep map and texture. In 2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT) (pp. 1665-1668). IEEE.
342. Li, Z., Zhu, H., Liu, H., Song, J., & Cheng, Q. (2024). Comprehensive evaluation of Mal-API-2019 dataset by machine learning in malware detection. arXiv preprint arXiv:2403.02232.
343. Tian, J., Wang, B., Guo, R., Wang, Z., Cao, K., & Wang, X. (2021). Adversarial attacks and defenses for deep-learning-based unmanned aerial vehicles. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(22), 22399-22409.
344. Shi, P., Cui, Y., Xu, K., Zhang, M., & Ding, L. (2019). Data consistency theory and case study for scientific big data. *Information*, 10(4), 137.
345. Li, Z., Zhu, H., Liu, H., Song, J., & Cheng, Q. (2024). Comprehensive evaluation of Mal-API-2019 dataset by machine learning in malware detection. arXiv preprint arXiv:2403.02232.
346. Jin, X., Manandhar, S., Kafle, K., Lin, Z., & Nadkarni, A. (2022, November). Understanding iot security from a market-scale perspective. In *Proceedings of the 2022 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* (pp. 1615-1629).
347. Hu, Z., Wang, X., Xu, K., & Dong, P. (2019, December). Real-time Target Tracking Based on PCANet-CSK Algorithm. In *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence* (pp. 343-346).
348. Tian, J., Shen, C., Wang, B., Xia, X., Zhang, M., Lin, C., & Li, Q. (2024). LESSON: Multi-Label Adversarial False Data Injection Attack for Deep Learning Locational Detection. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*.
349. Zhao, Y., Shanguan, Z., Fan, W., Cao, Z., & Wang, J. (2020, October). U-net for satellite image segmentation: Improving the weather forecasting. In *2020 5th International Conference on Universal Village (UV)* (pp. 1-6). IEEE.
350. Frankenfield J. What Is Business Intelligence (BI)? Types, Benefits, and Examples. URL: <https://www.investopedia.com/terms/b/business-intelligence-bi.asp> (дата звернення 11.03.2024).
351. Тренди Business Intelligence в 2023 : веб-сайт. URL: <https://datawiz.io/uk/blog/business-intelligence-trends-in-2023> (дата звернення: 16.03.2024).
352. 7 Прикладів як бізнес-аналітика допомагає бізнесу розвиватися : веб-сайт. URL: <https://brutalmarketing.me/uk/blog/yak-biznes-analytyka-dopomahaye-biznesu-rozvyvatysya> (дата звернення: 16.03.2024).

353. Djerdjouri M. Data and Business Intelligence Systems for Competitive Advantage: prospects, challenges, and real-world applications. URL: <https://www.redalyc.org/journal/5718/571861494009/571861494009.pdf> (дата звернення 11.03.2024).
354. Гобов Д. А. Сучасне розуміння бізнес-аналізу та його складових в ІТ-проектах. URL: [https://www.researchgate.net/publication/346106407\\_Sucasne\\_rozuminna\\_biznes-analizu\\_ta\\_jogo\\_skladovih\\_v\\_ITproektah](https://www.researchgate.net/publication/346106407_Sucasne_rozuminna_biznes-analizu_ta_jogo_skladovih_v_ITproektah) (дата звернення 16.03.2024)
355. Uriev, N.B. Physicochemical Dynamics of Disperse Systems and Materials, Moscow, Intellect, 2013, p. 232.
356. Uriev, N.B. Technology of Dispersed Systems and Materials: Physicochemical Dynamics of Structure Formation and Rheology, Weinheim, Germany, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2017, p.192.
357. Uriev, N.B. Highly Concentrated Disperse Systems and Materials, Moscow, Tekhpolygraftsentr, 2018, p. 407.
358. Abduragimova, L.A., Rebinder, P.A. and Serb-Serbina, N.N. Resiliently-viscous Properties of Thixotropic Structures are in the Water Suspensions of Bentonite Clays. Colloid Journal, 1955, Vol. 17, No. 3, pp. 184-195.
359. Bartenev, G.M. and Ermilova, N.V. On the Theory of Rheological Properties of Solid-like Disperse Structures. Two Types of Rheological Flow Curves. Colloid Journal, 1969, Vol. 31, No. 2, pp.169-175.
360. Bartenev, G.M. and Ermilova, N.V. On the Theory of Rheological Properties of Solid-like Disperse Structures. Two Mechanisms of Viscous Flow. Colloid Journal, 1967, Vol. 29, No. 6, pp.771-778.
361. Uriev, N.B. Highly Concentrated Disperse Systems, Moscow, Khimiia, 1980, p. 320.
362. Uriev, N.B. Physicochemical Fundamentals of the Technology of Disperse Systems and Materials, Moscow, Khimiya, 1988, p. 256.
363. Trofimova, L.E. and Uriev, N.B. Modeling of Structure Formation of Disperse Systems and Materials, Odessa, Astroprint, 2011, p. 36.
364. Trofimova, L. Modeling and Optimization of Technology and Physics-Mechanical Properties of Composite Materials. Key Engineering Material, 2020, Vol. 864, pp.59-65.
365. Trofimova, Larysa. Modeling the Characteristic Features of the Processes of Structure Formation in Some Building Composites., USA, AIP Publishing, 2023, Vol. 2840, Issue 1, p.1-6.
366. Haken, H. Synergetiks. An introduction, 3 rd. edn., Berlin, Springer, 1983, p.390.

367. Nicolis, G. and Prigogine, I. *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*, New-York, John Wiley & Sons, 1977, p. 491.
368. Nicolis, G. and Prigogine, I. *Exploring Complexity. An introduction*, San Francisco, W.H. Freeman, 1989, p. 313.
369. Poston, T. and Stewart, I. *Catastrophe Theory and its Applications*, London, San Francisco, Pitman, 1978, p. 491.
370. Glansdorff, P. and Prigogine, I. *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*, New-York, Wiley-Interscience, 1971, p. 306.
371. Tarakanov, V.N., Uriev, N.B., Ivanov, Ya.P. and Kozilkova, R. *Effects of Coarse Particles on the Rheology of Highly Concentrated Suspensions*, in *Proceedings of the 5th National Conference on Mechanics and Technology of Composite Materials (1988)*, Sofia, 1988, pp.436-443.
372. Kadomtsev, B.B. *Collective Phenomena in Plasma*, Moscow, Nauka, 1976, p.240.
373. Zel'dovich, Ya. B. *Formation of the Large-scale Structure of the Universe*, *Astronomy Letter*, 1982, Vol. 8, No. 4, pp.195-197.
374. Kerner, B.S. and Osipov, V.V. *Autosolitons: A New Approach to Problems of Self-Organization and Turbulence*, Boston, Kluwer Academic Pub., 1994, p.672.
375. Gurevich, A.V. and Mints R.G. *Localized Waves in Inhomogeneous Media*. *Usp. Fiz. Nauk*, 1984, Vol. 142, No. 1, pp.61-98.
376. Skvortsov, G.E. *On the Regularities of Nonequilibrium Processes*. *Pisma Zh. Tekh. Fiz.*, 1990, Vol.16, No. 17, pp.15-18.
377. Faitelson, L.A. *To Determination of the Rheological Characteristics of Concrete Mixtures*. *Researches on Concrete and Reinforced Concrete*, Acad. Nauk Latv. SSR, 1960, No. 5, pp.61-77.
378. Kruglitskii, N.N. and Boiko, G.P. *Physicochemical Mechanics of Cement Polymer Composition*, Kyiv, Naukova dumka, 1981, p. 240.
379. Polyakov, A.A. and Kruglitskii, N.N, *Spray Drying in the Technology of Radioelectronic Materials*, Moscow, Radio i sviaz, 1982, p. 72.
380. Krasilnikov, K.G. *On the Sorption of Water Vapors on Calcium Hydrosilicates*. *Dokl.Akad. Nauk SSSR*, 1962, Vol. 143, No. 4, pp.911-914.
381. Krasilnikov, K.G., Nikitina, L.V. and Skoblinskaia, N.N. *Physical Chemistry of Internal Deformation of Cement Stone*, Moscow, Stroiizdat, 1980, p. 256.
382. Gorchakov, G.I., Orentlikher, L.P., Savin, V.I., Voronin, V.V. et al. *The Composition, Structure and Properties of Cement Concrete*, edited by G.I. Gorchakov, Moscow, Stroiizdat, 1976, p. 145.

383. Moskvina, V.M., Kapkin, M.M., Mazur, B.M. and Podvalnyi, A.M. Resistance of Concrete and Reinforced Concrete at a Negative Temperature, Moscow, Stroizdat, 1967, p. 132.
384. Podvalnyi, A.M. On Temperature Deformations and Stresses in Reinforced Concrete Caused by the Mismatch of the Thermo-Physical Properties of Steel and Concrete. *Inzh.-Fiz. Zh.*, 1962, Vol. 5, No 2, pp. 113-116.
385. Rusanov, A.I. Thermodynamic Foundations of Mechanochemistry, St.Petersburg, Nauka, 2006. p. 221.
386. Hutman, E. M. Mechanochemistry of Metals and Corrosion Protection, Moscow, Metallurgiya, 1974, p. 230.
387. Rusanov, A. I., Uriev, N. B, Eryukin, P. V., Movchan, T. G. and Esipova, N. E. Discovery of effect of the sign of deformation in stress corrosion phenomena. *Dokl. Russian Akad. of Sciences*, 2004, Vol. 395, No. 3, pp.364-366.
388. Berenshtein, G. V., Diachenko, A. M. and Rusanov, A. I. Mechanochemical effect of dissolution. *Dokl.Akad. Nauk SSSR*, 1988, Vol. 298, No. 6, pp. 1402-1404.
389. Sorby, Knut. Development and Optimization of Vibration-Damped Tool Holders for High Length-Diameter Boring Operations // *High Speed Machining*, 2016. – 2(1). – P. 51-58. – DOI:10.1515/hsm-2016-0005.
390. Рижков, Л.М. Про синтез динамічних гасників коливань/ Л.М. Рижков, В.М. Симоненко // *Наукові вісті НТУ “КПІ”*, 2000. – №2. – С. 92-94.
391. Гурей В.І. Імітаційне моделювання переміщення осі швидкообертаючого шпинделя верстата під дією гіроскопічних сил / В.І. Гурей, П.Р. Дмитерко, І.В. Кузьо // *Proceedings of IX International Scientific Conference “Advanced Technologies in Mechanical Engineering”*. – Lviv-Play (Carpathians), 2020. – P. 66-70.
392. Гутиря, С.С. Технические характеристики планетарно-фрикционной коробки скоростей сверлильного станка / С.С. Гутиря, Б.А. Моргун, Ю.Б. Моргун // *Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XV межд. научно-техн. конф. Севастополь. – Донецк: ДонГТУ, 2008. – Вып. 1. – С. 288-292.*
393. Гутиря, С.С. Патент України: – UA 92112 “Динамічний віброгасник” / С.С. Гутиря, Б.О. Моргун, Ю.Б. Моргун. – Опубл. 18.06.2009. – Бюл. № 10, 2010. – 4 с.
394. Гутиря, С.С. Частотный анализ свободных колебаний инструментальной оправки с гироскопическим виброгасителем / С.С. Гутиря, В.П. Яглинский // *Труды Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2009. – Вып. 2(32). – С. 16-22.*
395. Гутиря, С.С. Вынужденные колебания инструментальной оправки с виброгасителем гироскопического типа / С.С. Гутиря, В.П. Яглинский // *Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: Зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2010. – Вип. 14. – С. 141-147.*



396. Гутиря, С.С. Амплитудно-частотные характеристики инструментальной оправки с гироскопическим виброгасителем / С.С. Гутиря, В.П. Яглінський, Ю.Б. Моргун // Зб. наук. праць "Прогресивні технології і системи машинобудування". – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Вип. 1. – С. 61-68.
397. Гутиря, С.С. Підвищення точності обробки неврівноваженою інструментальною оправкою/ С.С. Гутиря, В.П. Яглінський, Ю.Б. Моргун // Вісник СевНТУ, 2010, – Вип. 110. С. 118-122.
398. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: collective monograph / Hladyshev D., Brodskyi M., Hutyria S. etc. – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2023. – 461 p. Available at: DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2
399. Gutyrya, S.S. Increase of power efficiency of the ball friction-planetary mechanisms / S.S. Gutyrya, V.A. Morgun, Yu.B. Morgun // Les Problemes Contemporains du Technosphere et de la Formation des Cadres D'Ingenieurs, de IV Conf. Intern. Scientifique et Methodique, Hammamet: Tunisie, Donetsk: DonNTU. – 2010. – Issue 4. – P. 33-36. ISSN 2079-2530
400. Головка К.Г., Луговой П.З., Мейш В.Ф. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках (под ред. акад. НАН Украины А.Н. Гузя). – Киев: Изд. – полиграф. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.
401. Луговой П.З., Мейш В.Ф., Мейш Ю.А. Динаміка конструктивно-неоднорідних оболонкових структур: монографія – К.: Ліра-К, 2022. – 336 с.
402. Кравец В.Г., Луговой П.З., Прокопенко Н.Я. Влияние подкрепления и упругого основания на колебания прямоугольных в плане пологих ребристых цилиндрических оболочек // Вісник НТУУ (КПІ) Серія “Гірництво” -2011. Вип.-20. С.20-26.
403. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. - К.: Сталь. 2002 – 597с.
404. Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S. «Theory of Plates and Shells». Second Edition. New York etc.: McGraw-Hill Book Company INC, 1959. - 636 p.
405. Луговой П.З. Динаміка конструктивно-неоднорідних оболонкових структур: монографія /П.З. Луговой, В.Ф. Мейш, Ю.А. Мейш/ – К.: Ліра-К, 2022.–336 с.
406. Мейш Ю.А. Коливання циліндричних дискретно підкріплених оболонок на пружній основі при нестационарних навантаженнях // Вісник Національного транспортного університету: Ч. 2. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 26. - С. 578-583.
407. Сегерлинд Л. «Применение метода конечных элементов». М.: Мир, 1979.- 392 с.
408. Рычков С. П. «Моделирование конструкций в среде Femap with Nastran». / С. П. Рычков //– М. ДМК Пресс, 2016. – 784 с.

409. Подстрешний О., Терещенко О. Відгодівля перепелів на м'ясо. Аграрна Країна, 2017.
410. Ібатулін І. І., Слободянюк Н.М., Отченашенко В.В. Продуктивність перепелів за різних рівнів годівлі. Вісник Білоцерків. держ. аграр. ун-ту. 2002. Вип. 22. С.62–69.
411. Kucukersan S., Kucukersan K., Colpan I., Gonc-uoglu E., Reisli Z., Yesilbag D. The effects of humic acid on egg production and egg traits of laying hen. Vet. Med. 2005. 50 (9). Pp. 406-410.
412. Вітанель - новий вітамінний комплекс для птахівництва. Журнал "Зооіндустрія" . 2004. №4.
413. Cummings J.H., Macfarlane G.T., Englyst H. N. Prebiotic digestion and fermentation. The American Journal of Clinical Nutrition. 2001. 73(2), 415–420.
414. Orishchuk O.S., Tsap S.V. Scientific and practical basis for the use of probiotics to improve the quality of poultry products. Theoretical and Applied Veterinary Medicine. 2020. V.8. Issue 4. P. 241-245.
415. Мельниченко Ю.О., Бітюцький В.С., Використання нових поліфункціональних пробіотиків у птахівництві. Аграрна наука – виробництво: тези доповідей державної науково-практичної конференції, м. Біла Церква, 17 листопада 2016 року. Біла Церква, 2016. Ч. 2. С.32.
416. Collins M, David G, Gibson R. Probiotics, prebiotics, and synbiotics: Approaches to modulating gut microbial ecology. The American Journal of Clinical Nutrition. 1999. Volume 69. Issue 5. P. 1052–1057.
417. Решетніченко О., Орлов Л., Крюков В. Пробиотики в годівлі тварин. Тваринництво України. 2012. № 5. С. 25–29. 81.
418. Markowiak P., Śliżewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. Gut Pathogens. 2018. 10 (1).
419. Авдосьєва І.К., Регенчук В.В., Басараб О.Б. Вплив нового вітчизняного пробіотика «Біонорм П» на ефективність вакцинації проти вірусних захворювань бройлерів. Ветеринарія. 2011. № 10 (107). С. 12–14.
420. Маляр Д.Д., Мельниченко Ю.О., Соломонюк Я.В., Бітюцький В.С. Вивчення ефективності застосування пробіотиків та пребіотиків на імунологічні та мікробіологічні показники перепелів. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: зб. наук. праць. Біла Церква, 2013. Вип. 10 (105). С. 53–56.
421. Степченко Л.М., Грибан В.Г. Щодо механізму дії препаратів гумусової природи на організм тварин та птиці. Ветеринарна медицина України. 1997. №7. С. 34.

422. Гаюк Н.В., Бітюцький В.С. Використання комплексу пробіотиків та гуматів у птахівництві. Аграрна наука – виробництву: тези доповідей державної науково-практичної конференції, м. Біла Церква, 17 листопада 2016 року. Біла Церква, 2016. Ч. 2. С.37.
423. Приходченко В.О., Гладка Н.І. Ефективність використання біологічно активної кормової добавки гумісол в раціонах курчат-бройлерів. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. 2013. Т. 15. № 3(57)3. С. 185–191.
424. Степченко Л.М. Регуляторні механізми дії біологічно активних речовин гумінової природи на організм продуктивної птиці. Фізіологічний журнал. 2010. Т. 56. № 2. С. 306.
425. Калініченко С.В. Сучасний стан розробки та застосування пробіотичних, пребіотичних та синбіотичних препаратів. Анналі Мечниковського інституту. 2013 (3). С. 5–12.
426. Shenderov, V.A. Probiotics, prebiotics and synbiotics. General and selected fields of problem. Food ingredients. Raw materials and additives. 2005. № 2. P. 23–26.
427. Стегній Б.Т., Гужвинська С.О. Застосування пробіотиків у тваринництві. Ветеринарна медицина України. 2005. № 5. С. 39–41.
428. Мізерницький О. Використання пробіотиків у птахівництві. Сучасне птахівництво. 2021. №1–2. С.218–219.
429. Жила М.І., Т.Р. Левицький, І. М. Кушнір Фармакологічні властивості пробіотичних кормових добавок та їх вплив на продуктивність поросят при відгодівлі. Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин, ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок. 2014. Вип. 15. № 1. С. 158–163.
430. Семен І.С., Коцюмбас І.Я., Кушнір І.М. Перспективи застосування пробіотиків у птахівництві. Наук.-техн. бюл. Ін-ту біології тварин і ДНДКІ ветпрепаратів та корм. добавок. 2006. Вип. 7. № 1–2. С. 24–30.
431. Косенко Ю.М., Лук'янчук В.О., Кушнір І.М. Порівняльна оцінка деяких пробіотичних кормових добавок, зареєстрованих в Україні. Наук.-техн. бюл. Ін-ту біології тварин та ДНДКІ ветпрепаратів та корм. добавок. 2008. Вип. 9. № 4. С. 309–314.
432. Коцюмбас І.Я., Жила М.І., Шкіль М.І. Пробиотики – необхідна складова при сучасних технологіях вирощування тварин. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. 2013. Т. 15, № 3 (57). Ч. 2. С. 174–181.