

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Collective monograph

ISBN 979-8-88757-564-3

DOI 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4

BOSTON(USA)-2022

ISBN – 979-8-88757-564-3

DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4

*Improvement of scientific  
approaches to the development of  
engineering*

*Collective monograph*

*Boston 2022*

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – – 979-8-88757-564-3

DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4

Authors – Babyak V., Gladilin V., Hladyshev D., Mysak I., Mysak P., Vozniuk L., Василенко О., Чви́рова О., Перепелиця О., Тані́рвердієв А., Ста́щенко М., Вовк Л., Михайленко Е., Василенко О., Kyshenko V., Smityuh Y., Gorpichenko A., Krishchenko D., Ladanyuk A., Biletskyi M., Sverstyuk A., Andrushchak I., Matviiv Y., Kosheliuk V., Surinovych O., Кирилюк В.А., Іщенко Д.А., Кожушко Я.М., Клімішен О.О., Панасенко С.В., Кононихін О., Ільге І.Г., Плугіна Т.В., Гурко О.Г., Семенюк В.І., Коломіїцев О.В., Жуйков Д.Б., Третяк В.Ф., Корне́в О.В., Торба А., Д'яченко В., Партика С., Пушка́р О., Князієв В., Shalamov S., Haidukevych S., Semenova N., Kolodiychuk L., Kolesnik V., Sorokina S., Penkina N., Polupan V., Penkin A., Obodovych O., Sydorenko V., Khomenko V., Chernyavsky K., Stepanova O., Бернацький А., Сіора О., Сіора І., Соколовський М., Шамсутдінова Н., Переяславцева О., Orel V., Poradiuk I., Matlai I., Pitsyshyn B., Єфименко О., Розенфельд М., Мусаєв З., Щукін О., Орел О., Котенко К.Е., Пімонов І., Шевченко В., Єфименко А., Жук Д., Сало В., Нечипоренко В., Літовченко П., Раківненко В., Павлов Я., Fialko N., Sherenkovskii J., Meranova N., Aleshko S., Rokitko K., Navrodska R., Shevchuk S., Gnedash G., Канюк Г., Фурсова Т., Мезеря А., Кравець Т., Рябоконт Г., Кузьма В., Заяць М., Фединець В., Васильківський І., Фіалко Н.М., Степанова А.І., Навродська Р.О., Мера́нова Н.О., Шевчук С.І., Dolia O., Dolia K.

## 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://primediaelance.com/>

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

Illustrations © 2022 by the International Science Group and authors.

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

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

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

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

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

The recommended citation for this publication is:

**Improvement of scientific approaches to the development of engineering:** collective monograph / Babyak V. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. 562 p. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4



# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

## TABLE OF CONTENTS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | <b>ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION</b>   |    |
| 1.1   | <p><b>Babyak V.<sup>1</sup></b></p> <p><b>UNBUILT RESIDENTIAL BUILDINGS IN UKRAINE, 1980S-1990S YEARS OF CONSTRUCTION. RE-PLANNING FOR THE NEW REALITIES AND PERSPECTIVES OF ITS IMPLEMENTATION</b></p> <p><sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University</p> | 11 |
| 1.2   | <p><b>Babyak V.<sup>1</sup></b></p> <p><b>NEGATIVE CASE OF INTEGRATION MIGRANTS IN THE EU, FOR THE PERIOD BEFORE RUSSIA'S TOTAL WAR AGGRESSION IN UKRAINE</b></p> <p><sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University</p>                                       | 21 |
| 1.3   | <p><b>Gladilin V.<sup>1</sup></b></p> <p><b>PROBABILISTIC – STATISTICAL SEQUENTIAL ANALYSIS OF THE RESULTS OF GEODETIC MEASUREMENTS</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Geodetsy and Land Management, Bilotserk National Agrarian University</p>   | 28 |
| 1.3.1 | <p><b>THE ESSENCE OF SEQUENTIAL ANALYSIS. LIMIT STANDARDS</b></p>  | 28 |
| 1.3.2 | <p><b>CLARIFICATION OF THE VALUE OF X<sup>2</sup> - DISTRIBUTION</b></p>   | 31 |
| 1.3.3 | <p><b>SEQUENTIAL ANALYSIS OF CONTROL MEASUREMENTS IN TOPOGRAPHIC AND GEODETIC PRODUCTION</b></p>   | 35 |
| 1.3.4 | <p><b>DETERMINATION OF THE MAXIMUM NUMBER OF CONTROL MEASUREMENTS IN GEODESY BY THE METHOD OF MARKOV RANDOM PROCESS</b></p>  | 41 |
| 1.4   | <p><b>Hladyshch D.<sup>1</sup></b></p> <p><b>ANALYSIS OF THE INTERACTION OF GROUPS OF BUILDINGS WITHIN THE BOUNDARIES OF DENSE BUILDING</b></p> <p><sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University</p>   | 65 |
| 1.5   | <p><b>Mysak I.<sup>1</sup></b></p> <p><b>MODELING OF WEIRS BY USING CFD</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Hydraulic and Water Engineering, Lviv Polytechnic National University</p>  | 75 |
| 1.6   | <p><b>Mysak I.<sup>1</sup></b></p> <p><b>BIM-TECHNOLOGIES IN UKRAINE</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Hydraulic and Water Engineering, Lviv Polytechnic National University</p>   | 83 |

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 1.7  | <p>Mysak P.<sup>1</sup>, Mysak I.<sup>1</sup></p> <p><b>MODELING OF RUNOFF HYDROGRAPHS FROM THE IMPERVIOUS SUBCATCHMENTS BY USING CFD</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Hydraulic and Water Engineering, Lviv Polytechnic National University</p>   | 92  |
| 1.8  | <p>Vozniuk L.<sup>1</sup></p> <p><b>TECHNICAL INSPECTIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES THAT ENSURE THE LIFE OF PEOPLE</b></p> <p><sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University</p>   | 103 |
| 1.9  | <p>Vozniuk L.<sup>1</sup></p> <p><b>PRESERVATION AND RESTORATION OF BUILDING STRUCTURES OF CHURCHES IN UKRAINE, WHICH ARE RELIGIOUS, HISTORICAL, CULTURAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE</b></p> <p><sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University</p>   | 112 |
| 1.10 | <p>Василенко О.<sup>1</sup>, Чвирова О.<sup>1</sup>, Перепелиця О.<sup>1</sup>, Танірвердієв А.<sup>1</sup>, Сташенко М.<sup>1</sup></p> <p><b>ЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ СВІТЛОВИХ ЗАСОБІВ НА ЛЮДИНУ У ВНУТРІШНІХ ТА ЗОВНІШНІХ ПРОСТОРАХ</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра дизайну архітектурного середовища Одеської державної академії будівництва та архітектури</p> | 120 |
| 1.11 | <p>Вовк Л.<sup>1</sup></p> <p><b>АНАЛІЗ ГІДРОХІМІЧНОГО СТАНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ЗА ПОКАЗНИКОМ РОЗЧИНЕНОГО КИСНЮ</b></p> <p><sup>1</sup> Національний університет «Львівська політехніка»</p>   | 130 |
| 1.12 | <p>Михайленко Е.<sup>1</sup>, Василенко О.<sup>1</sup></p> <p><b>ХАРАКТЕРНІ ВЛАСТИВОСТІ АРХІТЕКТУРНОЇ СИСТЕМИ</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра дизайну архітектурного середовища, Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна</p>  | 139 |
| 2.   | <b>COMPUTER SCIENCE</b>   |     |
| 2.1  | <p>Kyshenko V.<sup>1</sup>, Smityuh Y.<sup>1</sup>, Gorpinchenko A.<sup>1</sup>, Krishchenko D.<sup>1</sup></p> <p><b>NONLINEAR DYNAMICS IN PROBLEMS OF CONTROLLING TECHNOLOGICAL COMPLEXES</b></p> <p><sup>1</sup> Department of automation and computer technologies of control systems, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine</p>                | 149 |

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 2.2 | <p>Kyshenko V.<sup>1</sup>, Smityuh Y.<sup>1</sup>, Ladanyuk A.<sup>1</sup>, Kryshchenko D.<sup>1</sup>, Biletskyi M.<sup>1</sup></p> <p><b>MONITORING METHODS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN CONTROL SYSTEMS</b></p> <p><sup>1</sup> Department of automation and computer technologies of control systems, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine</p>  | 160 |
| 2.3 | <p>Sverstyuk A.<sup>1</sup>, Andrushchak I.<sup>2</sup>, Matviiv Y.<sup>2</sup>, Kosheliuk V.<sup>2</sup>, Surinovych O.<sup>2</sup></p> <p><b>MULTICHANNEL NETWORKS WITH PERIODIC EXTERNAL LOAD</b></p> <p><sup>1</sup> Ternopil State Medical University I.Ya. Gorbachevskii<br/><sup>2</sup> Lutsk National Technical University</p>  | 172 |
| 2.4 | <p>Кирилюк В.А.<sup>1</sup>, Іщенко Д.А.<sup>1</sup>, Кожушко Я.М.<sup>2</sup>, Клімішен О.О.<sup>3</sup>, Панасенко С.В.<sup>2</sup></p> <p><b>ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ШАРУ ЦИФРОВОЇ КАРТИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В ІНТЕРЕСАХ ПЛАНУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ</b></p> <p><sup>1</sup> Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова<br/><sup>2</sup> Державний науково-дослідний інститут випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки, Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова,<br/><sup>3</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна</p> | 182 |
| 2.5 | <p>Кононихін О.<sup>1</sup>, Ільге І.Г.<sup>1</sup>, Пługіна Т.В.<sup>1</sup>, Гурко О.Г.<sup>1</sup></p> <p><b>ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВИБОРУ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН ТА ІНФОРМАЦІЙНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЇХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет</p>  | 196 |
| 2.6 | <p>Семенюк В.І.<sup>1</sup>, Коломійцев О.В.<sup>2</sup>, Жуйков Д.Б.<sup>1</sup>, Третяк В.Ф.<sup>1</sup>, Корнев О.В.<sup>3</sup></p> <p><b>НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПОСІБНИКА “КУРС СТРІЛЬБ” ТА “БУДОВА АК74” ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАЛЬНО-ТРЕНУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ “УЧИТЬСЯ ВЛУЧНО СТРІЛЯТИ”</b></p> <p><sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба<br/><sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»<br/><sup>3</sup> Національна академія Національної гвардії України</p>  | 213 |

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

|                                   |   |     |
|-----------------------------------|---|-----|
| 2.7                               | <p>Торба А.<sup>1</sup>, Д'яченко В.<sup>1</sup>, Партика С.<sup>1</sup>, Пушкар О.<sup>2</sup></p> <p><b>НЕДЕРМІНОВАНІ ГЕНЕРАТОРИ ВИПАДКОВИХ БІТІВ НА ОСНОВІ СТАНДАРТУ ISO/IEC 18031:2005</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра ЕОМ, Харківський національний університет радіоелектроніки<br/><sup>2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки</p>  | 232 |
| <b>3. ELECTRICAL ENGINEERING</b>  |   |     |
| 3.1                               | <p>Kniaziev V.<sup>1</sup>, Shalamov S.<sup>1</sup></p> <p><b>ASPECTS RELATED TO THE IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF APPLYING PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELS TO INCREASE THE ELECTROMAGNETIC STABILITY OF AEROSPACE ENGINEERING SAMPLES</b></p> <p><sup>1</sup> R&amp;D Institute "Molniya", National Technic University "Kharkiv Polytechnic Institute"</p>   | 242 |
| <b>4. INNOVATIVE TECHNOLOGIES</b> |   |     |
| 4.1                               | <p>Haidukevych S.<sup>1</sup>, Semenova N.<sup>1</sup>, Kolodiychuk L.<sup>1</sup></p> <p><b>РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИСТРОЯМИ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ НА БАЗІ КОНЦЕПЦІЙ SMART ТЕХНОЛОГІЙ</b></p> <p><sup>1</sup> Separated subdivision of the National university of bioresources and natural use of Ukraine "Berezhansky agrotechnical institute", Berezhani, Ukraine</p>   | 283 |
| 4.2                               | <p>Kolesnik V.<sup>1</sup>, Sorokina S.<sup>1</sup>, Penkina N.<sup>1</sup>, Polupan V.<sup>1</sup>, Penkin A.<sup>1</sup></p> <p><b>SCIENTIFIC SUBSTANTIATION AND DEVELOPMENT OF RATIONAL MODES OF PACKAGING PAPER FLAVORING</b></p> <p><sup>1</sup> Department of Trade, Hotel and Restaurant Business and Customs, State Biotechnological University</p>   | 307 |
| 4.3                               | <p>Obodovych O.<sup>1</sup>, Sydorenko V.<sup>1</sup>, Khomenko V.<sup>1</sup>, Chernyavsky K.<sup>1</sup>, Stepanova O.<sup>1</sup></p> <p><b>NUMERICAL MODELING OF A ROTARY-PULSATION APPARATUS WITH RECTANGULAR HOLES (3D MODEL)</b></p> <p><sup>1</sup> Department Thermophysics of Pulsed Processes in Disperse Systems, Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine</p>  | 317 |
| 4.4                               | <p>Бернацький А.<sup>1</sup>, Сіора О.<sup>1</sup>, Сіора І.<sup>2</sup>, Соколовський М.<sup>1</sup>, Шамсутдінова Н.<sup>1</sup></p> <p><b>ОГЛЯД ПРАЦЬ З РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ РУЧНОГО ЛАЗЕРНОГО ІНСТРУМЕНТА</b></p> <p><sup>1</sup> Відділ «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання», Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України<br/><sup>2</sup> Відділ біомедичних проблем поверхні, Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка, Національної академії наук України</p> | 330 |

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 4.5 | <p>Переяславцева О.<sup>1</sup></p> <p>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО СУШІННЯ БАКТЕРІАЛЬНОГО ПРЕПАРАТУ "БІФАЦИЛ"</p> <p><sup>1</sup> Інститут технічної теплофізики, Національної академії наук України, м. Київ</p>  | 341 |
| 5.  | MECHANICAL ENGINEERING  |     |
| 5.1 | <p>Orel V.<sup>1</sup>, Popadiuk I.<sup>1</sup>, Matlai I.<sup>1</sup>, Pitsyshyn B.<sup>1</sup></p> <p>THE EFFECT OF THE INFLUENCE OF AQUEOUS METAL ION SOLUTIONS ON THE FRICTION RESISTANCE IN THE GAP BETWEEN A ROTATING ROTOR AND A STATIONARY STATOR</p> <p><sup>1</sup> Department of Hydraulic and Water Engineering, Lviv Polytechnic National University</p> | 351 |
| 5.2 | <p>Pitsyshyn B.<sup>1</sup>, Matlai I.<sup>1</sup>, Popadiuk I.<sup>1</sup>, Orel V.<sup>1</sup></p> <p>THE EFFECT OF THE INFLUENCE OF AQUEOUS DITALAN SOLUTIONS ON THE FRICTION RESISTANCE IN THE GAP BETWEEN A ROTATING ROTOR AND A STATIONARY STATOR</p> <p><sup>1</sup> Department of Hydraulic and Water Engineering, Lviv Polytechnic National University</p>   | 360 |
| 5.3 | <p>Єфименко О.<sup>1</sup>, Розенфельд М.<sup>1</sup>, Мусаєв З.<sup>1</sup>, Щукін О.<sup>1</sup>, Орел О.<sup>1</sup></p> <p>ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ КОРОТКОБАЗОВИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ У ТРАНСПОРТНОМУ РЕЖИМІ</p> <p><sup>1</sup> Кафедра будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет</p>              | 371 |
| 5.4 | <p>Котенко К.Е.<sup>1</sup></p> <p>ВПЛИВ АРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНОГО ЗАПОВНЮВАЧА НА ДИНАМІКУ ТРИШАРОВИХ ОБОЛОНКОВИХ СТРУКТУР</p> <p><sup>1</sup> Кафедра теоретичної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури</p>   | 380 |
| 5.5 | <p>Пімонов І.<sup>1</sup>, Шевченко В.<sup>1</sup>, Єфименко А.<sup>1</sup>, Жук Д.<sup>1</sup></p> <p>ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ГІДРОПРИВОДА</p> <p><sup>1</sup> Кафедра будівельних і дорожніх машин, Харків, Харківський національний автомобільно- дорожній університет</p>   | 389 |

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 5.6   | Сало В. <sup>1</sup> , Нечипоренко В. <sup>1</sup> , Літовченко П. <sup>1</sup> , Раківненко В. <sup>1</sup> , Павлов Я. <sup>1</sup><br><br>ПРО РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ І ЖОРСТКІСТЬ<br>ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ НА БАЗІ ВАРІАЦІЙНОГО<br>RVR-МЕТОДА<br><br><sup>1</sup> Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна   | 399 |
| 6.    | METALLURGY AND ENERGY   |     |
| 6.1   | Fialko N. <sup>1</sup> , Sherenkovskii J. <sup>1</sup> , Meranova N. <sup>1</sup> , Aleshko S. <sup>1</sup> , Rokitko K. <sup>1</sup><br><br>CFD MODELING OF MICROJET COMBUSTION PROCESSES<br>WITH ASYMMETRIC FUEL SUPPLY<br><br><sup>1</sup> Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine   | 417 |
| 6.2   | Fialko N. <sup>1</sup> , Navrodska R. <sup>1</sup> , Shevchuk S. <sup>1</sup> , Gnedash G. <sup>1</sup><br><br>EFFICIENCY OF AIR HEAT-RECOVERY EQUIPMENT FOR<br>GLASS FURNACES<br><br><sup>1</sup> Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies, Institute of<br>Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv  | 429 |
| 6.3   | Канюк Г. <sup>1</sup> , Фурсова Т. <sup>1</sup> , Мезеря А. <sup>1</sup><br><br>АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОЇ<br>ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ<br>ЗАСТОСУВАННЯМ АРХІТЕКТУРИ "КЛАСНОЇ ДОШКИ"<br><br><sup>1</sup> Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, Українська<br>інженерно-педагогічна академія  | 439 |
| 6.4   | Кравець Т. <sup>1</sup> , Рябокони Г. <sup>2</sup> , Кузьма В. <sup>1</sup> , Заяць М. <sup>1</sup><br><br>ПОБУДОВА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК<br>ТУРБОУСТАНОВКИ К-325-23,5 ПРИ ВІДХИЛЕННІ<br>ПОЧАТКОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПАРИ ТА ЗМІНАХ У<br>ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ<br><br><sup>1</sup> Кафедра теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій, Національний<br>університет «Львівська політехніка»<br><sup>2</sup> ПрАТ «Львіворгрес» | 449 |
| 6.4.1 | АНАЛІЗ ДАНИХ З ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ  | 450 |
| 6.4.2 | МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ  | 451 |
| 6.4.3 | РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ<br>ТУРБОУСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ<br>ТЕПЛОВИХ ВИПРОБУВАНЬ  | 452 |
| 6.4.4 | ІМІТАЦІЙНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ НА МАТЕМАТИЧНІЙ<br>МОДЕЛІ ТУРБОУСТАНОВКИ  | 456 |



IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 6.4.5 | АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ІМІТАЦІЙНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ НА МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ   | 459 |
| 6.5   | Фединець В. <sup>1</sup> , Васильківський І. <sup>1</sup><br><br>ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ І СПОСОБУ МОНТАЖУ ПЕРВИННИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА ПОХИБКУ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПЛИННИХ ЕНЕРГОНОСІЇВ<br><br><sup>1</sup> Національний університет «Львівська політехніка»   | 462 |
| 6.6   | Фіалко Н.М. <sup>1</sup> , Степанова А.І. <sup>1</sup> , Навродська Р.О. <sup>1</sup> , Меранова Н.О. <sup>1</sup> , Шевчук С.І. <sup>1</sup><br><br>ЕКСЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ПОВІТРЯНИМ МЕТОДОМ ЗАХИСТУ ГАЗОВІДВІДНИХ ТРАКТІВ КОТЕЛЕНЬ<br><br><sup>1</sup> Інститут технічної теплофізики НАН України           | 471 |
| 6.7   | Фіалко Н.М. <sup>1</sup> , Степанова А.І. <sup>1</sup> , Навродська Р.О. <sup>1</sup> , Меранова Н.О. <sup>1</sup> , Шевчук С.І. <sup>1</sup><br><br>АНАЛІЗ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК<br><br><sup>1</sup> Інститут технічної теплофізики НАН України  | 479 |
| 7.    | TRANSPORT   |     |
| 7.1   | Dolia O. <sup>1</sup> , Dolia K. <sup>2</sup><br><br>STUDY OF THE PASSENGER TRAFFIC PARAMETERS IN AIR TRANSPORT – THE MAIN FACTOR IN PLANNING LOADS<br><br><sup>1</sup> Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.<br><sup>2</sup> The National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine. | 487 |
|       | REFERENCES  | 519 |

**SECTION 1. ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4.1.1

**1.1 Unbuilt residential buildings in Ukraine, 1980s-1990s years of construction.  
Re-planning for the new realities and perspectives of its implementation**

Currently, negative trends in the housing market are a serious problem for the social, economic and political spheres of Ukraine. Which, in turn, affects the decrease in the possibility of purchasing housing for the majority of the population. This significantly affects the pace of economic development of individual regions and the entire country

The housing industry remains almost the only area that has not undergone significant changes. Thus, this issue is extremely relevant. The mentioned situation requires reform not only at the legislative level, but also regulation of relations between subjects of the residential real estate market. This regulation must be based on a fundamentally new basis, as it indicates the standard of living of the nation. The given approach should also indicate the presence of a vein in the middle class layer. And also: quantitative characteristics, economic development and legal justice in the state [1].

In the realities of external aggression and war, in which Ukraine has been for 9 years, the issue of creating a large amount of housing becomes acute. A large number of residential buildings were destroyed or temporarily occupied. According to data from the Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine, as of June 1, three and a half million Ukrainians have damaged or destroyed homes. We are talking about 116,000 objects with a total area of 14 million square meters. Of them, multi-story residential buildings — 12.3 thousand (12 million square meters), individual estates — 104.1 thousand (1.7 million square meters). 3.8 thousand multi-apartment houses and 24.4 thousand individual houses suffered minor damage (up to 25%). 30,000 multi-apartment and 27,300 individual houses need restoration through new construction. Capital repair or reconstruction — 58,500 apartment buildings and 52,600 individual buildings [2].

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Statistics of the Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine show that 27,300 single-family residential buildings need full restoration and reconstruction. Such a number of houses will require significant financial infusions for complete restoration. In the realities of war, there is a need to find ways to optimize financial models for creating new housing.

If we set the final task: the implementation of housing in a single-family/cottage housing development with minimal financial and time costs.

Having examined the realities of residential development in Ukrainian settlements, point or even groups of unfinished residential buildings are characteristic. Such buildings are part of several waves of mass construction:

- a) the end of the 1980s - the beginning of the 1990s;
- b) the beginning of the 2000s - 2010s;
- c) the period before the start of the total war (Russian invasion of Ukraine in 2014, and especially from December 24, 2022);

1980s and early 1990s. This statement is confirmed both by the number of ads for the sale of these buildings and among blogs of foreign travelers [3].

This category of residential building has a list of problems related specifically to the architectural and engineering component. To understand this phenomenon, there is a need to study specific examples and analyze them.

During the review of the site for real estate sales, houses from 1980-1990 are singled out in a separate group. To study this issue, a search was conducted for the above-mentioned type of houses in the city of Lviv. An interesting fact is that all the found objects (except one) are located outside Lviv. At the same time, the sellers write in the ad that the houses are located in the city of Lviv. These houses are located in the suburban area, and are located near transport highways and have good connections with infrastructure facilities (see Fig. 1.). Such a location is attractive for housing for people who have an urban/urbanized lifestyle.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Fig.. 1. The location of unfinished residential buildings, which are sold on the OLX real estate platform and are treated as objects in Lviv.

Ukraine is not the only country with such problems. Similar problems exist in many countries. Problems with uninhabited or unfinished real estate around cities are not only a problem in countries with developed economies, but also in developing countries. Luxembourg has the same problem around the cities, there are many private abandoned or unfinished houses in the suburbs, although there is a significant need for housing in the cities. This issue is solved by legal mechanisms: the introduction of a dynamic system of taxation of unused or unfinished housing. Every year the tax amount increases and it becomes irrational for the owner to keep such an economic asset. In this way, this property is sold to a new owner or they independently complete the construction and operate this housing [4, 5, 6.].

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING







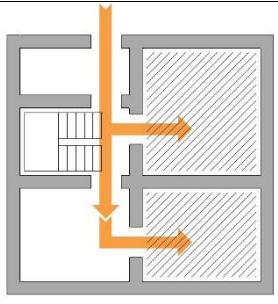
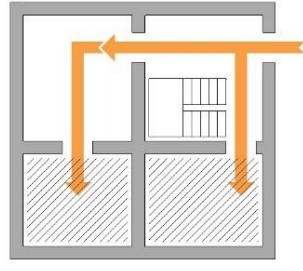
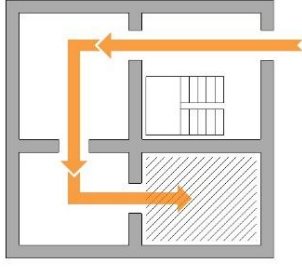
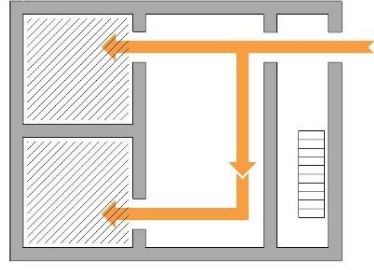
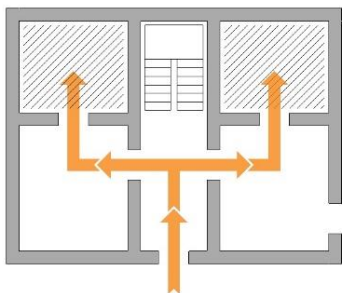
| №  | Photo  | №  | Photo   |
|----|--|----|---|
| 1. |   | 2. |   |
| 3. |   | 4. |   |
| 5. |  | 6. |  |

Fig.. 2. Examples of unfinished houses sold on the OLX platform and treated as objects in the city of Lviv.

After looking at typical examples of the exterior and general three-dimensional solution of houses from advertisements (see Fig. 2.) - an understanding of the uniformity and simplicity of constructive solutions emerges. Own architectural and life experience of interaction with this type of houses allowed us to single out characteristic layout schemes. Duplication of the planning solution for the first and second floors is characteristic. This feature is justified by placing not only load-bearing walls one above the other, but also partitions.



IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

| №   | <i>Planning scheme</i>   |   |
|-----|--|---|
| 1.  |   | 2.a<br> |
| 2.b |   | 3.<br>  |
| 4.  |  |   |



- Isolated room, through which there is no transit.

Fig.. 3. Schemes of the organization of floors, a separate category of unfinished residential buildings of the 1980s - 1990s.

After looking at typical examples of the exterior and general volumetric solution of houses from real estate ads, an understanding of the uniformity and simplicity of structural schemes. Both architectural and engineering and planning features of such buildings are highlighted.

Planning features:

- a large number of walk-through rooms;
- the majority of rooms have hyperbolized/non-optimal areas;
- high floor height, which is often excessive;



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- non-compliance of the number of bathrooms/bathrooms with modern requirements;

- separate large and full-sized living rooms and kitchens;

- ill-conceived ergonomic staircases and frequent lack of organization;

Architectural and engineering features:

- lack of the required number of ventilation channels;

- low-quality materials and geometry of both load-bearing and non-load-bearing walls;

- many "cold bridges" that require the development of insulation units;

On the basis of the received data, the tasks for replanning should be formulated:

- implementation of modern approaches in the planning structure (isolation of passage rooms, unification of the kitchen and living room into a single space, arrangement of the correct number of sanitary facilities, provision of dressing rooms, arrangement of ergonomic staircases);

- organization of the required number of ventilation ducts and sewage systems;

- minimize changes in the configurations of external window fillings, if necessary, arrange the necessary openings.

The above-mentioned facts and materials can become the initial data for the project of the implementation of a mass redevelopment of unfinished residential buildings of the 1980s - 1990s. The identified category of unfinished buildings is a resource for the rapid creation of housing in an already formed and inhabited environment with existing infrastructure.

Buildings that meet the specified parameters have a commercial price and are widespread not only in a specific case (Lviv agglomeration), but are characteristic of all large and small cities and settlements of Ukraine. Therefore, the process of renovation and conversion of these buildings can be massive and cover the entire country.

For clarity, consider a real example of a building of a similar time of construction. This house is located in the same conditions of the suburb of Lviv - Vynnyky. The residential building has remained unfinished since the early 1990s.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The object is located on one of the main highways of this settlement - Ivan Fanka Street. The house is made of three-dimensional materials and planning solutions. A similar type of house has a land plot of at least 5-6 square meters, and most often about 10 hundred square meters. - this makes it possible to create a comfortable layout of the site, without being squeezed into narrow dimensions.

Among the shortcomings, non-normative distances between neighboring residential buildings and our building should be noted, but this is argued by older planning recommendations and norms.



Fig.. 4. Schemes of the location of the research object in the suburbs of Lviv – Vynnyky

Photo capture shows both visual and conceptual similarities between the selected subject and the pre-exposed ones. The residential building is built of red brick and monolithic reinforced concrete floors. Visually, the building can be characterized as an object in a generally satisfactory condition, which is subject to possible reconstruction.

The proposed redevelopment model is a compromise. Compromise is determined by the financial side. Significant engineering interventions (namely, the installation of several groups of ventilation channels and sewer pipes) significantly increase the redevelopment. It becomes justified to use only one vertical channel for ventilation and sanitary infrastructure for the kitchen area, the bathroom of the 1st floor and the bathroom of the 2nd floor.

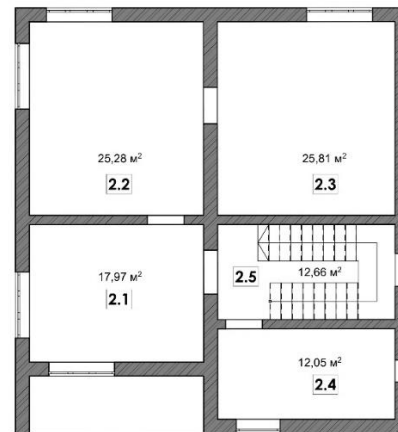
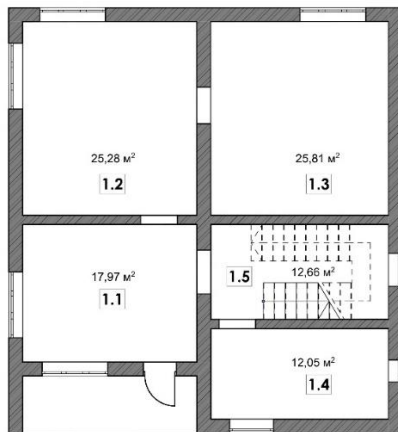
# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Fig.. 5. Photograph of the research object in the suburbs of Lviv – Vynnyky

Plan - 1st floor

Plan - 2nd floor



Explanation of the plan - 1st floor

Explanation of the plan - 2nd floor

|                      |
|----------------------|
| 1.1 Room 17,97 m.sq. |
| 1.2 Room 25,28 m.sq. |
| 1.3 Room 25,81 m.sq. |
| 1.4 Room 12,05 m.sq. |
| 1.5 Room 12,66 m.sq. |

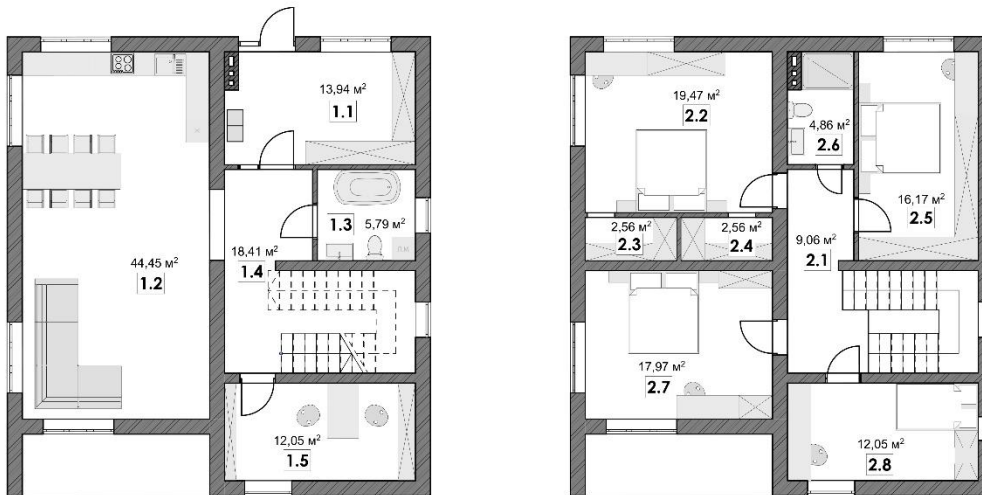
|                       |
|-----------------------|
| 2.1 Room 17,97 m.sq.  |
| 2.2 Room 25,28 m.sq.. |
| 2.3 Room 25,81 m.sq.  |
| 2.4 Room 12,05 m.sq.  |
| 2.5 Room 12,66 m.sq.  |

Fig.. 6. Planning scheme of the research object in the suburbs of Lviv - Vynnyki

Plan - 1st floor

Plan - 2nd floor

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Explanation of the plan - 1st floor

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1.1 Hallway 13,94 m.sq.             |
| 1.2 Kitchen-living room 44,45 m.sq. |
| 1.3 WC 5,79 m.sq.                   |
| 1.4 Hall 17,41 m.sq.                |
| 1.5 Office 12,05 m.sq.              |

Explanation of the plan - 2nd floor

|                         |
|-------------------------|
| 2.1 Hall 9,06 m.sq.     |
| 2.2 Bedroom 19,47 m.sq. |
| 2.3 Wardrobe 2,56 m.sq. |
| 2.4 Wardrobe 2,56 m.sq. |
| 2.5 Bedroom 16,17 m.sq. |
| 2.6 Bedroom 4,86 m.sq.  |
| 2.7 Bedroom 17,97 m.sq. |
| 2.8 Bedroom 12,05 m.sq. |

Fig.. 7. Scheme of replanning of the research object in the suburbs of the city of Lviv - the city of Vinnyki

The planning structure after the reconstruction has undergone significant improvement:

- availability of transit rooms is excluded;
- two bathrooms are arranged;
- monospace kitchen-living room is organized;
- rationally planned bedrooms, with provision for a wardrobe;
- arrangement of the entrance vestibule and outerwear storage area.

The engineering component underwent the following changes after the reconstruction:

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- a vertical channel is arranged to provide a ventilation system and a sewage system

Unfinished residential buildings of the 1980s and 1990s are a reserve for the rapid realization of housing for a large percentage of Ukrainian citizens in need of housing after the end of Russia's military aggression against Ukraine. The successful location of such objects near the existing infrastructure and residential buildings will allow for the rapid integration of new residents into the new environment.

## **1.2 Negative case of integration migrants in the EU, for the period before Russia's total war aggression in Ukraine**

Analysis of the situation of mass wave of migration in the EU shows a specific negative phenomena and trends. The consequences of the current integration strategy of migrants into the society are a number of public protests and the burning of shelters for migrants. Instead of solving the social problem several new where created, which increased the original problem. Based on this the analysis of events and isolating errors leading to increasing conflicts in society had been held. The main objective of this article is to focus on the shortcomings of existing methods of integration of migrants and how they can be adjusted. Recommendations are based on the analysis of the architectural and functional-organizational characteristics of objects attacked.

This paper deals with the challenges faced by implementation of housing projects for workers in Europe, the example is Germany. To better understand the object of study we should outline the limits of the term migrant. The best understanding of this term is interpretation by BBC, namely :

BBC uses the term migrant to determine all the people that are in the process of moving and planning to or have already begun the legal process of receiving asylum. This group includes people fleeing wars and probably getting refugee status, as well as people looking for work and a better life who are economic migrants [7].

Operating experience of detention locations that established in Europe showed a negative trend. This conclusion can be drawn from the number of reports of protests against migrants and intentions of their settlement in different European cities [8]. It was decided by European Commission to allocate migrants among EU member states as one of the solutions of migrant crisis in the EU [9].

The main initiator of clotting in fast networks who accept migrants became Germany. Implementing this solution has shown that migrants where resettled in groups on the territory of settlements and outside of it. Resettlement is either in existing places for illegal migrants [10], or there has been created new places or adapt to these



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

requirements already existing premises. The above means indicate the strategy, which is dominated by the issue of integration of workers in the new environment (in this case EU society and certain other European countries). That strategy is to disperse distribution of workers among European countries. Instead, the state implements concentrated resettlement of migrants.

Resettlement is the territory of certain administration units sold under the vision of state authorities. Usually these solutions do not always coincide with the opinion of the indigenous population, which leads to conflict situations, in some cases they lead to setting the asylums on fire and confrontation with the local population [11].

This approach shows the right solution at the interstate level- logical solution is scattering a large number of workers (to stimulate their integration), reduce the degree of public disapproval in some parts of Europe and reduce the financial burden on individual EU countries. Instead, the more we get involved in finding solution – the less justified are the decision of the individual responsible authorities. All the above factors can be described through the prism of architecture, as the clue to resolving this issue is housing for workers. One of the objectives of the architecture is housing that meets as many needs of the people as possible.

Certain states implemented the strategy of concentration of migrants, which undermines efforts to disperse distribution at the international level. As an example – extensive centers of migrant maintenance have been erected. As a consequence - aggravated public attitudes towards the integration or segregation of migrants in Europe grows. For better understanding of the problem let's look at some of the most known facts combating certain segments of society, and most often is – arson of detention of migrants. At the same time analyze the location of this type of construction in the settlements.

- *April 2015 in the German city Troyglits unknown provoke fire in the newly reconditioned loft building for migrants [12].*

Settlement for migrants was held in a multi-storey house with a exploited loft. The scale of the building is the same as of the apartment buildings nearby.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The house is located in the city center, in a residential district of the city. The center for migrants was designed for 40 people. Analyzing this urban setting (see. Fig.1) can conclude that the responsible authorities for the implementation of this housing for migrants concentrated settlement method chosen 40 people not integrated in core housing group. Individuals who commit arson have not been established, instead there was launched a discussion of the rationality of accepting so many migrants.



Fig.1 Arrangement of housing for workers in the structure Troyglits city (coordinates: 51.055167 "N 12.177832" E)

- August 2015 in the German town of Nauen was carried out arson building local high school gyms. There had reconstructed building to accommodate 130 workers [13];

In this case, housing for workers was integrated into the sports hall of the institution. Indoor sports facilities was provided for the resettlement of 130 migrants, asylum seekers (see. Fig.2). While considering the integration method of housing for

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

workers in the structure of the city the growing conflict becomes understandable. The school, in the gym of which was arranged migrants's cells, is located in the central, historic part of the city. To understand the situation it should be emphasized that Nauena population is 16.5 thousand people, so point settlement of 130 migrants in the historic district is not a guarantee of successful integration of migrants into the new environment and the normalization of relations with the indigenous population. This decision shows the vector centralized segregation of migrants in separate group settlements dispersed without integration into the existing structure of settlements.



Fig.2 Arrangement of housing for workers in the structure Nauen (coordinates:  $52^{\circ} 36'35.4''\text{N } 12^{\circ} 52'29.6''\text{E}$ )

- December 2015, in the German city of Rossbach was carried out arson buildings, preparing for a short time to take hundreds of migrants[14]





Fig.3. Fire destroyed a shelter for migrants in Rossbah [15]

In the small town of Rossbach (Rossbach), which has less than 3 thousand people. In the center of the city there was created a shelter to stay about 40 migrants. The center is located in a suburb Rossbaha - Shmidoff (Schmiedorf), namely in the central part of the suburb. Construction of the center is not of equal size to residential buildings around. Configuration of the facility is capable of providing concentrated residency for migrants in the structure of the settlement.

- *September 2015, in Wertheim, in south-western federal state of Baden-Vyurtember Germany, there has been arson gymnasium. This building was converted for migrants requirements [16]*

The city Wertheim (Wertheim), which has about 22 thousand residents held adapted sports facilities to accommodate migrants. This institution would have to accommodate about 400 workers [18]



Fig.4. Burned building for migrants. Wertheim [19]

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

This building is located in the external perimeter of the city, close to transport line (Nassiger Straße). Visual dimensions of buildings and the estimated number of migrants, who where to live here, suggests that the calculation was concentrated in dense migrants residence. This opinion is confirmed by photographic images of the interior of sports facility after the conversion [18]. The possibility of successful integration of migrants in such circumstances is questionable. By housing conditions should not be forgotten prejudice attitude concerning indigenous people. As a result of the tense situation around the migrants themselves, their process of getting into the country and small-scale integration in the structure of the city - triggered by a fire in the institution and sharpening the debate within the society.



Fig.5 Interior of the converted sports complex for immigrants living in the city. Wertheim [20]



Fig.6. Arrangement of housing for workers in the structure of the city. Wertheim (coordinates: 49.753339 "N 9.495902" E)

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

If we carefully analyze the facts, we can trace the causal nature of these processes. After reviewing the photofixation of burnt shelters for migrants we can note enough features of objects that have suffered attacks.

Architectural planning: *Objects are quite capacitive intended to stay migrant groups and are not intended for individual settlement; Objects are located within the settlements; Inappropriate size of the shelters for migrants arrived regarding the structure of settlements*

Functional and organizational: *Shelters are intended for the resettlement of migrants in large groups - that is questionable motivation for quick adaptation to a new society; Shelters for migrants don't have gradations in terms of readiness for integration into a new society; Shelters for migrants have no graduation in the arrangement of the structure of the country, namely of just illegal migrants detained on the border of the country - to individual dwellings in the structure of settlements for migrants willing to integrate into the surrounding society.*

The mistakes mentioned above form the basis for the concerns of local people. When reading a situation of migrant influx in Europe I have not found the search system which would display other methods of integration of migrants in the new conditions. These facts cast doubts on the success of mass and rapid integration of large numbers of migrants, and in 2015, analysts cited figure of 1,006,000. newly arrived migrants [13]. While developing the concept of integration of migrants in the new conditions we should take into account a number of factors, the importance of which are confirmed by the number of arson shelters for migrants and the local population protests.



### **1.3 Probabilistic – statistical sequential analysis of the results of geodetic measurements**

#### **1.3.1 The essence of sequential analysis. Limit standards**

When performing topographic surveying, when performing planning, construction - installation and other works, it is necessary to perform control - geodetic measurements of the quality of their performance. Until now, control - geodetic measurements have been established for various reasons, which did not have a very specific scientific approach.

The most correct will be the performance of control - geodetic measurements by the method of probabilistic - statistical sequential analysis, the basics of which were developed by Wald [21]. Sequential analysis has already been used to optimally determine the methods of angular measurements in triangulation [24]. But it should be noted that the estimated number of measurements in triangulation (polygonometry, trilateration, *GPS*) is known in advance, it is given in the instructions [27].

When using control - geodetic measurements, their number is unknown in advance, for this purpose the theory of the consecutive analysis with use of Markov random processes is finished.

The essence of consistent analysis.

For each number of measurements, we calculate the acceptance and rejection numbers in advance according to the formulas [21].

$$\left\{ \begin{array}{l} a_v = \frac{\sigma_1^2 \times \sigma_2^2}{\sigma_2^2 - \sigma_1^2} \left[ 2 \times \ln \frac{\beta}{1-\alpha} + \left( \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^2 \right] \\ r_v = \frac{\sigma_1^2 \times \sigma_2^2}{\sigma_2^2 - \sigma_1^2} \left[ 2 \times \ln \frac{1-\beta}{\alpha} + \left( \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^2 \right] \end{array} \right\} \quad (1)$$

In these formulas:  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  - standard standard deviations of measurements, respectively under favorable and unfavorable conditions, which will be the limit standards in the future;  $\alpha$  - reject works when in fact they are of good quality;  $\beta$  - to accept works of good quality, when in fact they are subject to rejection;  $v$  is the number of degrees of freedom, if the actual value of the quantity (measured) is monitored, then

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

$v = n$ , where  $n$  is the number of measurements (if the actual value is unknown, then  $v = n - 1$ ).

After each measurement, the accumulated sum of squares of deviations  $[\delta^2]$  of control measurements  $x_i$  from their actual value  $M(x)$  or from the arithmetic mean  $x_{cp}$  is calculated, after which this sum is compared with the acceptance and rejection numbers, with the appropriate number of measurements.

If  $[\delta^2]_v \leq a_v$ , the measurements are completed and the work performed is considered to be of good quality. In the case when  $a_v \leq [\delta^2]_v \leq r_v$ , then the control work continues and if it turns out that  $[\delta^2]_v \geq r_v$  - the work performed is missing. The deviation of  $\delta_i$ , with an unknown real value of the quantity being measured, and the deviation of a known real value, denoted by  $\Delta_i$ , are from the relations:

$$\begin{cases} \delta_i = x_i - x_{cp} \\ \Delta_i = x_i - M(x) \end{cases} \quad i = 1, n. \quad (2)$$

Expressions (1) do not assume that the values of  $\sigma_1$  and  $\sigma_2$  are standards, since the standards under the appropriate conditions are constant values that are from the general population, so there can be no two standards, and it would be correct to call these values  $\sigma_1$  and  $\sigma_2$  (1) empirical standards, or root mean square errors, but more simply called marginal standards.

Wald [21] proposes to set the values of  $\sigma_1$  and  $\sigma_2$  in advance for the same measurements for all dimensions, in which case expression (1) will be linear, but the acceptance and rejection numbers are nonlinear, which is more in line with practical and theoretical requirements.

The difference between the defective and receiving numbers calculated by expressions (1), for any number of measurements will be a constant value, in fact, this phenomenon does not agree with theory and practice. It has long been known that with the increase in the number of measurements, their variance increases, which is confirmed in practice, so it is more logical to assume that the difference between receiving and missing numbers, with increasing number of measurements should increase

It is proposed to find the limit standards when constructing confidence intervals, for the standard, for each number of measurements, or the number of degrees of freedom. The instructions [27] do not specify a standard but a threshold from which you can jump to a standard. The confidence interval of the standard is built in the form of equations [22].

$$Z_1 \times m(x) \leq \sigma(x) \leq Z_2 \times m(x), \quad (3)$$

де  $Z_1$  та  $Z_2$  – coefficients determined by the formulas:

$$Z_1 = \frac{\sqrt{v}}{\chi_{2,v}}; \quad Z_2 = \frac{\sqrt{v}}{\chi_{1,v}}; \quad (4)$$

$\chi_{1,v}$ ;  $\chi_{2,v}$  – values selected from the distribution table  $\chi^2$  (chi-square) depending on the confidence interval  $p$  and the number of degrees of freedom  $v$ ;  $m(x)$  – root mean square measurement error;  $\sigma(x)$  is the standard deviation of the standard (standard).

We do not know the value of  $m(x)$ , but as the number of measurements increases, it approaches the standard and we can assume that  $m(x) \approx \sigma(x)$ , then the confidence interval will look like:

$$Z_1 \times \sigma(x) \leq \sigma(x) \leq Z_2 \times \sigma(x) \quad (5)$$

Since the left-hand side of equation (5) is less than  $\sigma(x)$  and the right-hand side is larger, which will correspond to good and unfavorable conditions of observations, these extreme parts of equations will be equal to the limit standards, ie

$$\sigma_{1,v} = Z_1 \times \sigma(x); \quad \sigma_{2,v} = Z_2 \times \sigma(x) \quad (6)$$

The value of the standard  $\sigma(x)$  is set or calculated according to the limit tolerance specified by the instruction, substituting (4) in expression (6) and squaring the limit standards we obtain

$$\sigma_{1,v}^2 = v \times \sigma^2(x) / \chi_{2,v}^2; \quad \sigma_{2,v}^2 = v \times \sigma^2(x) / \chi_{1,v}^2. \quad (7)$$

Given (7), the equations of acceptance and defective numbers (1) will finally take the form [21]

$$a_v = \left( 2 \ln \beta / (1 - \alpha) + v \ln \chi_{2,v}^2 / \chi_{1,v}^2 \right) v \sigma^2(x) / (\chi_{2,v}^2 - \chi_{1,v}^2)$$

$$r_v = \left( 2 \ln(1 - \beta) / \alpha + v \ln \chi_{2,v}^2 / \chi_{1,v}^2 \right) v \sigma^2(x) / (\chi_{2,v}^2 - \chi_{1,v}^2)$$

(8)

Equation (8) will not be equations of lines, but will be equations of curves.

Given the values  $\alpha$ ,  $\beta$  of defective and receiving numbers, standard deviation  $\sigma(x)$ , and the confidence interval  $p$  to find the values of  $\chi_{1,v}^2$  and  $\chi_{2,v}^2$  we can calculate the acceptance and rejection numbers for any how many control measurements. The values of  $\chi_{1,v}^2$  and  $\chi_{2,v}^2$  are chosen from the table  $\chi^2$ -distribution according to the confidence probabilities  $p_1 = 1 - 0.5(1 - p)$ ,  $p_2 = 0.5(1 - p)$  and depending on the number of degrees of freedom  $v$ .

### 1.3.2 Clarification of the value of $\chi^2$ - distribution

To calculate the acceptance and rejection numbers according to formula (8), the number of significant digits of the values  $\chi_{1,v}^2$  and  $\chi_{2,v}^2$  must be at least six. However, even in the exact tables [28] the number of significant digits is three to four, which does not satisfy the required accuracy of determining the acceptance and rejection numbers, so it is necessary to calculate more accurate values  $\chi_{1,v}^2$  and  $\chi_{2,v}^2$ , in addition, these values will be needed in determining the number of degrees of freedom or the number of measurements at which the process of sequential analysis will end with almost a probability close to unity, which is important when planning the process of control - geodetic measurements.

For the values of  $\chi_{i,1}^2 < 1$  and the number of degrees of freedom  $v = 1$  the probability is calculated by the formula [28]:

$$P(\chi_{i,1}^2) = 2 \times \left[ 1 - \phi \left( \sqrt{\chi_{i,1}^2} \right) \right], \quad i = 1, 2 \quad (9)$$

where  $\phi \left( \sqrt{\chi_{i,1}^2} \right)$  – is a Laplace function of the random variable  $\sqrt{\chi_{i,1}^2}$ , the exact values

of which are in [28]. From formula (9) we find that

$$\phi \left( \sqrt{\chi_{i,1}^2} \right) = 1 - 0,5p(\chi_{i,1}^2). \quad (10)$$

For example, for a confidence probability  $p = 0.95$ , the probability  $p_1 = 1 - 0.5(1 - p) = 0.975$ , for which we find the value of  $\chi_{1.1}^2$ , then by inverse linear interpolation on the value of the function 0.1525 we find the argument  $\sqrt{\chi_{1.1}^2} = 0,03133835$  and magnitude  $\chi_{1.1}^2 = 0.000982092$ .

To find a more accurate value of  $\chi_{2.1}^2$  and subsequent values, the following technique is proposed.

If it is necessary to determine the probability from a given value of  $\chi^2$ , it can be determined in the table of the probability integral  $\chi^2$  [28], using Bessel's formula for quadratic interpolation:

$$P(\chi_v^2) = P(\chi_{0,v}^2) + U * \Delta P(\chi_{0,v}^2) - \frac{U(1-U)}{2} * \frac{\Delta P(\chi_{+1,v}^2) - \Delta P(\chi_{-1,v}^2)}{2} \quad (11)$$

Where  $\chi_{-1,v}^2; \chi_{0,v}^2; \chi_{+1,v}^2$  – equidistant tabular values of the argument, and  $\chi_{0,v}^2 \leq \chi_v^2 < \chi_{+1,v}^2$ ,

$$U = \frac{\chi_v^2 - \chi_{0,v}^2}{\chi_{+1,v}^2 - \chi_{0,v}^2}; \quad (12)$$

$$\Delta P(\chi_{j,v}^2) = P(\chi_{j+1,v}^2) - P(\chi_{j,v}^2) \quad (j = -1; 0; +1) \quad (13)$$

The values  $\Delta P(\chi_{j,v}^2)$  of the first differences are given in Table [28] next to the corresponding values  $P(\chi_{j,v}^2)$  of the function, such differences will always be negative. But it is necessary to find not the probability, but a more accurate value of  $\chi^2$ . Write from table [28] less accurate value for the corresponding  $p_i$  and  $v$ , then the table of probability integral and formula (11) find the probability value  $P(\chi_{j,v}^2)$  to seven significant digits and determine a more accurate value of  $\chi^2$  by formula

$$\chi_{i,v}^2 = \chi_{0,v}^2 + \left[ \frac{p_i - p(\chi_{i,v}^2)}{\Delta P(\chi_{0,v}^2)} + U \right] (\chi_{+1,v}^2 - \chi_{0,v}^2) \quad (i = 1, 2) \quad (14)$$

To control the finding of the quantities  $\chi_{i,v}^2$ , it is necessary to recalculate the probability  $P(\chi_{j,v}^2)$ , according to the more accurate value of  $\chi_{i,v}^2$ . If the adjusted values are calculated to the sixth significant figure, the discrepancy between the calculated and theoretical values of probability will not exceed  $10^{-6}$ . The calculated values of  $\chi_{1,v}^2$  and  $\chi_{2,v}^2$  with six significant figures at  $p = 0.95$  for  $v =$  from 1 to 20, which are given

in table. 2. The discrepancy between the probabilities in the control calculations does not exceed  $10^{-6}$ , this indicates that the proposed formula (14) allows with a high degree of accuracy to determine the value of  $\chi^2$ , using the table of probability integrals [28].

For example, it is necessary to determine the refined value of  $\chi_{1,3}^2$  for the confidence interval  $p = 0.95$ , for  $p_1 = 0.975$ ,  $p_2 = 0.025$  and  $\nu = 3$  from the table of probability integrals [28] we find that  $\chi_{1,3}^2 = 0.216$ , from the same tables write all the necessary data, which are given in table. 1.

Table 1.

Data to determine the refined value  $\chi_{1,3}^2$   
for trustworthiness  $p = 0.95$

| $\chi^2$ | $\nu = 3$ |                     |
|----------|-----------|---------------------|
|          | $P$       | $-\Delta * 10^{-5}$ |
| 0.15     | 0.98523   | 764                 |
| 0.20     | 0.97759   | 845                 |
| 0.25     | 0.96914   | 911                 |

Then  $P(\chi_{0,3}^2) = 0.99759$ ;  $\chi_3^2 = 0.216$ ;  $\chi_{0.3}^2 = 0.2$ ;  $\chi_{+1,3}^2 = 0.25$ , according to these values we calculate the value of  $U$  by the formula (12)

$$U = \frac{0.216 - 0.2}{0.25 - 0.2}.$$

Table 2.

Value  $\chi^2$  from the tables [28] and clarifications according to the formula (14)

| $\nu$ | Value $\chi^2$             |                            |                               |                            |
|-------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
|       | Hald and Synkbaek          |                            | Clarification by formula (14) |                            |
|       | $\chi_{1,\nu}^2 p_1=0.975$ | $\chi_{2,\nu}^2 p_2=0.025$ | $\chi_{1,\nu}^2 p_1=0.975$    | $\chi_{2,\nu}^2 p_2=0.025$ |
| 1     | 0.000982                   | 5.024                      | 0.000982092                   | 5.02410                    |
| 2     | 0.0506                     | 7.378                      | 0.0506364                     | 7.37746                    |
| 3     | 0.216                      | 9.348                      | 0.215798                      | 9.34852                    |
| 4     | 0.484                      | 11.143                     | 0.484404                      | 11.1430                    |

Continuation of table 2

| $\nu$ | Value $\chi^2$             |                            |                               |                            |
|-------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
|       | Hald and Synkbaek          |                            | Clarification by formula (14) |                            |
|       | $\chi^2_{1,\nu} p_1=0.975$ | $\chi^2_{2,\nu} p_2=0.025$ | $\chi^2_{1,\nu} p_1=0.975$    | $\chi^2_{2,\nu} p_2=0.025$ |
| 5     | 0.831                      | 12.832                     | 0.831140                      | 12.8323                    |
| 6     | 1.237                      | 14.449                     | 1.23742                       | 14.4490                    |
| 7     | 1.690                      | 16.013                     | 1.68989                       | 16.0132                    |
| 8     | 2.180                      | 17.535                     | 2.17976                       | 17.5342                    |
| 9     | 2.700                      | 19.023                     | 2.70030                       | 19.0224                    |
| 10    | 3.247                      | 20.483                     | 3.24709                       | 20.4828                    |
| 11    | 3.816                      | 21.920                     | 3.81590                       | 21.9211                    |
| 12    | 4.404                      | 23.336                     | 4.40379                       | 23.3369                    |
| 13    | 5.009                      | 24.736                     | 5.00863                       | 24.7353                    |
| 14    | 5.629                      | 26.119                     | 5.62874                       | 26.1192                    |
| 15    | 6.262                      | 27.488                     | 6.26221                       | 27.4887                    |
| 16    | 6.908                      | 28.845                     | 6.90775                       | 28.8460                    |
| 17    | 7.564                      | 30.191                     | 7.56418                       | 30.1919                    |
| 18    | 8.231                      | 31.526                     | 8.23087                       | 31.5266                    |
| 19    | 8.907                      | 32.852                     | 8.90667                       | 32.8517                    |
| 20    | 9.591                      | 34.170                     | 9.59082                       | 34.1705                    |

We write out the differences  $\Delta P(\chi^2_{0,3}) = -845 \cdot 10^{-5}$ ;  $\Delta P(\chi^2_{+1,3}) = 11 \cdot 10^{-5}$ ;  $\Delta P(\chi^2_{0,3}) = -0.764 \cdot 10^{-5}$ , (Table 1), we find the product  $U(1-U) = 0.2176$ , then the probability according to Bessel's formula (11) will be  $P(\chi^2_{1,3}) = 0.9749659$ , by formula (14) calculate the refined value  $\chi^2_{1,3} = 0.215798$ .

For control, we calculate again according to these formulas  $U = 0.31596$ ;

$U(1-U) = 0.2161293$ ;  $P(\chi^2_{1,3}) = 0.9749996$ , the discrepancy between the probabilities is  $0.9749996 - 0.975 = -0.4 \cdot 10^{-6}$ , which is insignificant.

The obtained values  $\chi^2$  even to the third digit after the comma are more accurate than in the probability integral table, the values obtained with a rounding error not exceeding  $5 \cdot 10^{-6}$ , the interpolation error does not exceed  $10 \cdot 10^{-6}$ .

Для знаходження значень  $\chi^2$ , for any probability  $p$ , which is not in the table, you must first calculate the value  $\chi^2$  між сусідніми значеннями ймовірності  $p_1, p_2$  and  $\chi_{1,v}^2$  and  $\chi_{2,v}^2$ , which are given in the table by the formula of logarithmic interpolation

$$\chi_{i,v}^2 = \chi_{M,v}^2 + (\chi_{max,v}^2 - \chi_{min,v}^2) \frac{\ln p_i - \ln p_{max}}{\ln p_{min} - \ln p_{max}}, \quad (i = 1, 2), \quad (15)$$

where  $p_{min}$  and  $p_{max}$  – less and more adjacent probability values;  $\chi_{min,v}^2$  та  $\chi_{max,v}^2$  – less and more adjacent values  $\chi^2$ , which correspond  $p_{min}$  and  $p_{max}$ .

Perform the calculation similarly to the previous case, ie the approximate value  $\chi^2$  знаходимо точні значення ймовірності  $P(\chi^2)$  and  $\chi^2$  according to formulas (11) and (14) and perform control calculations.

For example, you need to calculate the refined value  $\chi_{1,3}^2$  for confidence  $p = 0.995$ , for  $p_1 = 0.9975, p_2 = 0.0025$  i  $v = 3$  from the table of probability integrals [28] and by formula (15) we find  $\chi_{1,3}^2 = 0.04205$ , auxiliary value according to the formula (12)  $U = 0.205, U \cdot (1 - U) = 0.162975$ , then the probability found by the formula (11)  $P(\chi_{1,3}^2) = 0.9977372$ , by formula (14) calculate the refined value  $\chi_{1,3}^2 = 0.0449066$ . To control, once again calculate the probability by formula (11), we obtain  $P(\chi_{1,3}^2) = 0.997504$ , the difference between the probabilities is  $0.997504 - 0.9975 = 4 \cdot 10^{-6}$ .

As a result, using formulas (8) and table 2, you can easily calculate the acceptance and rejection numbers  $a_v$  and  $r_v$  with the required accuracy.

### 1.3.3 Sequential analysis of control measurements in topographic and geodetic production

Let's consider some typical examples of quality control of topographic and geodetic works that are performed.



IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

Calculate by formulas (8) the values  $a_v$  and  $r_v$  of the acceptance and rejection numbers at different  $\alpha$  and  $\beta$  for the confidence interval  $p = 0.95$  and the unit standard  $\sigma = 1$ , which are shown in table 3.

Table 3.

Acceptance  $a_v$  and rejection  $r_v$  numbers at different values  $\alpha$  and  $\beta$

| $v$ | $P = 0.95; \alpha=0.05; \beta=0.05$ |          | $P = 0.95; \alpha=0.10; \beta=0.05$ |          | $P = 0.95; \alpha=0.10; \beta=0.10$ |          |
|-----|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|
|     | $a_v$                               | $r_v$    | $a_v$                               | $r_v$    | $a_v$                               | $r_v$    |
| 1   | 0.52780                             | 2.87251  | 0.54933                             | 2.59653  | 0.82531                             | 2.57500  |
| 2   | 1.11212                             | 4.32709  | 1.14164                             | 3.94867  | 1.52005                             | 3.91915  |
| 3   | 1.77943                             | 5.64827  | 1.81495                             | 5.19289  | 2.27033                             | 5.15737  |
| 4   | 2.49702                             | 6.91703  | 2.53760                             | 6.39677  | 3.05786                             | 6.35619  |
| 5   | 3.24790                             | 8.15483  | 3.29296                             | 7.57726  | 3.87052                             | 7.53221  |
| 6   | 4.02224                             | 9.37107  | 4.07135                             | 8.74149  | 4.70093                             | 8.69238  |
| 7   | 4.81498                             | 10.57093 | 4.86783                             | 9.89344  | 5.54533                             | 9.84059  |
| 8   | 5.62214                             | 11.75860 | 5.67848                             | 11.03632 | 6.40077                             | 10.97997 |
| 9   | 6.44112                             | 12.93537 | 6.50075                             | 12.17096 | 7.26515                             | 12.11134 |
| 10  | 7.26942                             | 14.10276 | 7.33216                             | 13.29845 | 8.13647                             | 13.23571 |
| 11  | 8.10614                             | 15.26183 | 8.17184                             | 14.41957 | 9.01409                             | 14.35387 |
| 12  | 8.95065                             | 16.41551 | 9.01919                             | 15.53686 | 9.89783                             | 15.46833 |
| 13  | 9.80141                             | 17.56302 | 9.87267                             | 16.64944 | 10.78624                            | 16.57818 |
| 14  | 10.65732                            | 18.70441 | 10.73121                            | 17.75724 | 11.67838                            | 17.68335 |
| 15  | 11.51844                            | 19.84136 | 11.59485                            | 18.86171 | 12.57450                            | 18.78530 |
| 16  | 12.38409                            | 20.97385 | 12.46296                            | 19.96279 | 13.47401                            | 19.83393 |
| 17  | 13.25402                            | 22.10254 | 13.33526                            | 21.06103 | 14.37677                            | 20.97979 |
| 18  | 14.12762                            | 23.22799 | 14.21118                            | 22.15684 | 15.28233                            | 22.07328 |
| 19  | 15.00474                            | 24.35020 | 15.09054                            | 23.25020 | 16.19054                            | 23.16440 |
| 20  | 15.88484                            | 25.46817 | 15.97283                            | 24.34017 | 17.10083                            | 24.25218 |

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

This table is convenient to use when calculating the acceptance and rejection numbers for different standards, it is necessary to find the product of tabular values per square of the standard other than 1. In addition, table 3 will be used to calculate transient probabilities, finding the maximum number of control measurements random process.

Example. Controlled measurements are performed on the built-up area and compared with the distances determined on the topographic plan, according to [27] the discrepancy should not exceed 1 mm between the points of objects or contours of the situation and the nearest points of the shooting base. When shooting in Scale 1: 500 - 1mm on the plan corresponds to 0.5 m in the field.

To perform control measurements and their sequential analysis, it is necessary to make a table of acceptance and rejection numbers in advance, which can be calculated using the numbers in table. 3 by producting them by the square of the standard.

The value of the standard will be found by the limit value  $\Delta = 1$  mm on the plan or,  $\Delta = 50$  cm on the ground, the standard of measurement for the confidence interval  $p = 0.95$  will be

$$\sigma(x) = \frac{\Delta}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ cm.} \quad (16)$$

We set the confidence probability  $p = 0.95$  and the values  $\alpha = \beta = 0.05$ . Calculate the acceptance and rejection numbers, using the first two columns of numbers in table. 3, which are multiplied by  $\sigma_2(x) = 625$ , which are given in table. 4.

Table 4.

Acceptance and rejection numbers for the standard calculated by (16)

|         |      |      |  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|---------|------|------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\nu$   | 1    | 2    |  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12    |
| $a_\nu$ | 330  | 595  |  | 1112 | 1561 | 2030 | 2514 | 3009 | 3514 | 4026 | 4543 | 5066 | 5594  |
| $r_\nu$ | 1795 | 2704 |  | 3530 | 4323 | 5097 | 5857 | 5607 | 7349 | 8085 | 8814 | 9539 | 10260 |

In this example, the control measurements are considered true, so the number of measurements  $n$  will be equal to the number of degrees of freedom  $\nu$ .

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Perform the first control measurement to the contours of the situation. The difference between the distance measured by the tape measure and the distance obtained on the plan in accordance with the scale turned out 40 cm, raise it to the square and compare with the acceptance and rejection numbers for  $\nu = 1$ , table. 4, which shows that the square of the difference  $\delta_1^2 = 1600$  is in the interval between the receiving and rejection numbers, ie  $a_1 = 330 < \delta_1^2 = 1600 < r_1 = 1795$ , from this we conclude that the control measurements should be continued. After performing the second control measurement, the difference between it and the measured on the plan was 25 cm, the square of which  $\delta_2^2 = 625$ .

Then we add the squares of the deviations (or the differences of the first and second) of the control measurements, we get the sum  $[\delta^2]_2 = 1600 + 625 = 2225$ . In the future the sum of the squares of the deviations will increase, so it will be accumulated. The results of the accumulated differences, their squares and accumulated amounts are shown in table 5.

Table 5.

The results of the obtained differences, their squares and accumulated sums

|  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | 40   | 25   | 15   | 10   | 15   | 30   | 15   | 0    | 5    |
|  | 1600 | 625  | 225  | 100  | 225  | 900  | 225  | 0    | 25   |
|  | 1600 | 2225 | 2500 | 2600 | 2825 | 3725 | 3950 | 3950 | 3975 |

After the second measurement we compare the sum of squares of deviations with the acceptance and rejection numbers for  $\nu = 2$ , table. 4, we obtain the inequality  $a_2 = 695 < [\delta^2]_2 = 2225 < r_2 = 2704$ , and again we conclude that the control measurements must be continued.

In the third control measurement we get the difference of 15 cm and the accumulated sum  $[\delta^2]_3 = \delta_3^2 + \delta_2^2 = 225 + 2225 = 2500$ , and also compare it with the acceptance and rejection numbers for  $\nu = 3$ , and so on we continue these definitions, therefore, after the ninth measurement, we find that the accumulated sum of squares of deviations is less than the acceptance number for  $\nu = 9$ , ie  $[\delta^2]_9 = \delta_9^2 + [\delta^2]_8 = 25 + 3950$

$= 3975 < a_9 = 4026$  table. 4, as a result of which we stop control measurements and consider the performed topographic survey to be of good quality.

The instruction [27] states that the number of marginal discrepancies should not exceed 10% of the total number of control measurements.

In this example, nine control measurements were performed, but in none of them the difference reached the limit value of 50 cm, if we had to perform the tenth measurement, where the difference would be equal to the limit and assume that the eighth dimension difference is also 50 cm, then the work had to be rejected, ie  $[\delta^2]_{10} = \delta_8^2 + \delta_9^2 + \delta_{10}^2 + [\delta^2]_7 = 3950 + 2500 + 25 + 2500 = 8975 > r_{10} = 8814$ , in this example, two marginal differences are allowed, and we conclude that that these works should be rejected. Thus, at first glance, it seems that everything agrees with the requirements of the instructions, ie one limit is allowed for ten measurements, then the work given in the example will not be rejected, and control must be continued. If you look closely at the differences in this example, it is noticeable that they are mostly far from the limit values, but in practice this is rare. Usually, when performing surveys, the differences tend to go to the limit values, so the standard of calculations by formula (16) will not be satisfied, its value is slightly underestimated, ie overstated.

The following method of determining the standard by the limit value is proposed. According to the instruction [27], the number of marginal differences should not exceed 10%, ie one difference per ten control measurements is allowed, therefore, it is necessary to choose such a confidence interval  $p$  and its coefficient  $t_p$  so that the product of this coefficient is  $\sigma(x)$  value less than the limit

$$t_p * \sigma(x) = \Delta - \omega, \quad (17)$$

where  $\omega$  is a small range of measurement errors or differences, the number of which does not exceed 10% of the total. Expressions (17) will satisfy the following values of  $t_p = 1.5$ ,  $\sigma(x) = 30$  cm,  $\omega = 5$  cm (accuracy of determining the distance on the scale in Sscale 1: 500). The value of  $t_p = 1.5$  of the normal distribution corresponds to a confidence interval  $p = 0.8664$  (or significance level  $q = 0.1336$ ), since  $t_p * \sigma(x) = 1.5 * 30 = 45$  cm, then at a given level of error or difference exceeding 45 cm, as well as

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

errors of 50 cm and more will be 13.36%, the marginal errors themselves will not exceed 10%, which meets the requirements of the instructions [27].

The example shows that the control of distances measured from the plan and measured in kind deserves attention, so for quality control we take the standard  $\sigma(x) = 30$  cm

For example, to control the survey of the terrain with a section height of 0.5 m and a slope of up to  $3^\circ$ , it is necessary to determine the standard of measurements from the calculations of the acceptance and rejection numbers. The permissible differences between the control pickets and the marks found on the plan by interpolation in accordance with [27] should not exceed 25 cm, as in the previous example, the number of differences reaching the limit values should be less than 10% of the total number of control pickets.

Based on this condition, as in the previous example and in accordance with (17) we find  $t_p * \sigma(x) = 25 - 1$ ,  $\omega = 1$  cm, as the marks in Scale 1: 500 are determined to within one centimeter, for  $t_p = 1.5$ , standard  $\sigma(x) = 24 / 1.5 = 16$  cm.

The number of errors exceeding 24 cm will be 13.36% of the total number of control measurements, acceptance and rejection numbers are calculated in the same way as in the previous example. In cases where there are no additional restrictions, and the limit value of the differences is specified, we use the formula to determine the standard

$$\sigma(x) = \frac{\Delta}{t_p}, \quad (18)$$

where  $t_p$  - is the argument of the normal distribution function, which is selected from the tables of this distribution on the confidence interval  $p$ .

Consecutive analysis of control - geodetic measurements gives the advantage that all the received information on quality is used for decision-making, instead of only its part, as it is specified in the instruction - judgments about quality are made only on the maximum differences. Thus, this analysis regulates the instructional tolerances and it is possible to more flexibly approach the quality control of topographic survey, but

for this you need to choose the right value of the standard  $\sigma(x)$ , the confidence probability  $p$ , and set the probabilities  $\alpha$  and  $\beta$ .

### 1.3.4 Determination of the maximum number of control measurements in geodesy by the method of Markov random process

Random value  $[\delta^2]$  - the sum of squares of deviations of the results of control - geodetic measurements from their actual values, or from their arithmetic mean, which is compared with the receiving  $a_v$  and defective  $r_v$  numbers, is nothing but  $\chi^2$  for  $\sigma(x) = 1$ , respectively in this case, the values (measurements) are subject to  $\chi^2$  - distribution.

Random variable

$$\chi^2 = \frac{(n-1)m^2(x)}{\sigma^2(x)} \quad (19)$$

also ordered  $\chi^2$  - distribution since

$$m^2(x) = \frac{[\delta^2]}{n-1}, \quad (20)$$

substitute (20) into (19), obtain

$$\chi^2 = \frac{[\delta^2]}{\sigma^2(x)}, \quad (21)$$

If  $\sigma(x) = 1$ , then  $[\delta^2] = \chi^2$ , it is important to find the probability that a random variable  $[\delta^2]$  falls within the intervals

$$0 \div a_v; a_v \div r_v; r_v \div +\infty, \quad (22)$$

such probabilities will be found assuming that  $a_v$  and  $r_v$  subordinate also  $\chi^2$  distribution at  $\sigma(x) = 1$ .

The process of sequential analysis of control measurements can end with one of two decisions: either the measurements will be accepted as benign if  $[\delta^2]_v < a_v$  or they will be rejected if  $[\delta^2]_v > r_v$  and this process can be considered as a heterogeneous Markov random process with discrete states, for this it is necessary to correctly compose a model of the Markov process [29], which is the main link of the Markov process.

It is necessary to find the probabilities of random value  $[\delta^2]_v$  in different intervals of the corresponding measurement, ie in the interval of measurements  $0 \div a_v$ , in the

interval of continuation of measurements  $a_v \div r_v$  and in the interval of rejection of measurements  $r_v \div +\infty$ , and these probabilities must be determined very accurately, as the probability of completion of the analysis process should be almost equal to one. For this purpose, more accurate values of  $\chi^2$  (six significant digits, Table 2) are determined, by which we find  $a_v$  and  $r_v$ , according to which at  $\sigma(x) = 1$  we calculate the probabilities of random values  $[\delta^2]_v$  in the receiving interval, the interval of continuation of control measurements or defective interval (22).

Consider examples of finding the probability of a random variable  $[\delta^2]_v$  in intervals (22), set the probability  $p = 0.95$  and  $\alpha = \beta = 0.05$  and the number of degrees of freedom  $\nu = 1$ . Determine the probability of falling into the interval of measurements (Table 3)  $0 \div a_v$ ;  $0 \div 0.52780$ , such a probability will be found in the following way. The probability that the random variable  $[\delta^2]_v = \chi^2$  will exceed zero is equal to one, ie  $P([\delta^2]_v > 0) = 1$ , and the probability that  $[\delta^2]_v$  will exceed  $a_1 = 0.52780$  is calculated by Bessel's formula (11) :

$$P([\delta^2] > a_1) = 10^{-5}[47950 + 0.556(-2118) - 0.061716(-1974 + 2284)] = 0.46753,$$

according to the formula (12)  $U = 0.556$ ,  $U(1-U)/4 = 0.061716$ .

For values  $[\delta^2]_v < 1$  perform control over formula (10), then

$$\phi(\sqrt{a_1}) = 1 - 0,5 * 0.46753 = 0.7662335; \sqrt{a_1} = 0.726498,$$

$a_1 = 0.52780$ ,  $\chi_1^2 = 0$ ,  $p_1 = 1.00000$ ,  $\chi_2^2 = 0.52780$ ,  $p_2 = 0.46753$ , then the probability of falling into the interval  $0 \div a_v$ ;  $0 \div 0.52780$  will be  $P_{12} = 1 - 0.46753 = 0.53247$ .

The probability of a random variable  $[\delta^2]_v$  in the interval of continuation of measurements of table. 3,  $a_1 \div r_1$ ;  $0.52780 \div 2.87251$ , is calculated as the difference of the probabilities of the ends of the interval, which are determined by the Bessel formula, but for the left end of the interval the probability is already obtained, it is necessary to calculate the probability for the right end of the interval

$$P([\delta^2] > r_1) = 10^{-5}[9426 - 0.36255 * 1100 - 0.23107(-962 + 1260)/4] = 0.09010,$$

$U = 0.36255$ ,  $U*(1-U) = 0.231107$ , received the following data:  $\chi_1^2 = 0.52780$ ,  $p_1 = 0.46753$ ,  $\chi_2^2 = 2.87251$ ,  $p_2 = 0.09010$ , accordingly, the probability of falling into the interval  $0 \div a_v$ ;  $0 \div 0.52780$  will be equal to  $P_{11} = 0.46753 - 0.09010 = 0.37743$ .

The probability of hitting a random variable  $[\delta^2]_v$  in the interval of missing measurements  $r_v \div +\infty$ ;  $2.87251 \div +\infty$  will be defined as the probability that a random variable  $[\delta^2]_v$  exceed  $r_1$ , that is  $P_{13} = P([\delta^2]_v > r_1) = 0.09010$ . The sum of all three probabilities must be equal to one, ie  $P_{11} + P_{12} + P_{13} = 1$ , or  $0.37743 + 0.53247 + 0.09010 = 1.00000$ .

In fig. 1 shows in the general case of probability  $P([\delta^2]_v > 0) = 1$ ,  $P([\delta^2]_v > a_v)$  and  $P([\delta^2]_v > r_v)$ , with the appropriate number of degrees of freedom  $v$ .

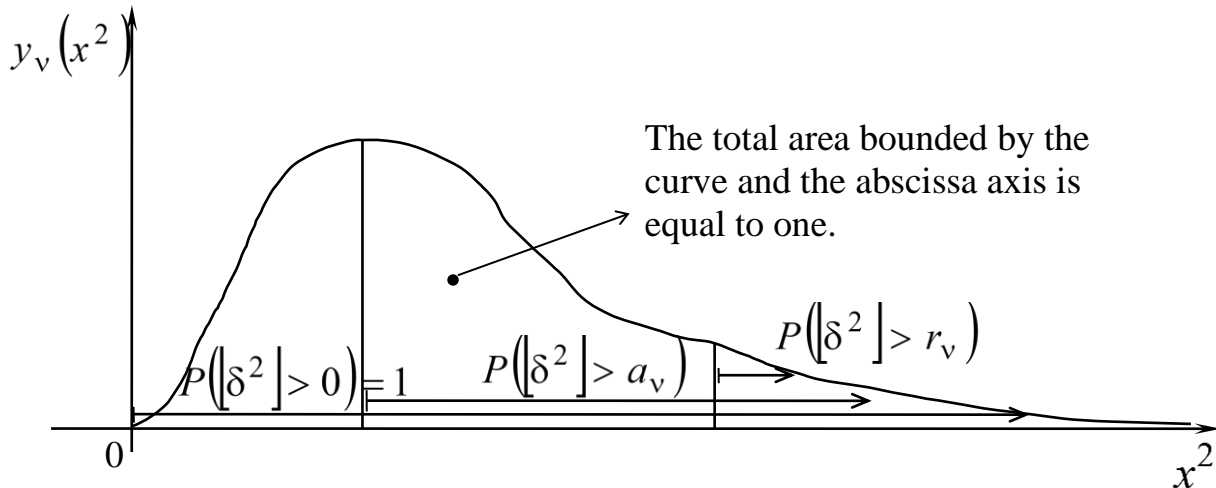


Fig. 1. Probability density  $\chi^2$  – distribution with specified missing and acceptable intervals

These probabilities are equal to the areas under the probability density curve  $\chi^2$  – distribution to the right of the corresponding ordinates, as shown by the arrows going to infinity, the sum of all three areas bounded by the abscissa intervals  $0 \div a_v$ ;  $a_v \div r_v$ ;  $r_v \div +\infty$ , equal to the total area bounded at the top by a common curve, below the abscissa  $\chi^2$ , ie equal to one.

The probabilities of the random variable  $[\delta^2]_v$  in the specified intervals, with the corresponding number of degrees of freedom  $v$ , are determined by the proposed equations:



IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

$$P_{12}^{(v)} = 1 - P([\delta^2]_v > a_v),$$

$$P_{11}^{(v)} = P([\delta^2]_v > a_v) - P([\delta^2]_v > r_v)$$

$$P_{13}^{(v)} = P([\delta^2]_v > r_v). \tag{23}$$

The probability of confidence is  $p = 0.95$ , the probability  $\alpha = \beta = 0.05$ ;  $\alpha = 0.10$   $\beta = 0.05$  and  $\alpha = \beta = 0.10$ , calculated probabilities of random values  $[\delta^2]_v$  in these three considered intervals, for different degrees of freedom  $v = 14$ ,  $v = 12$  and  $v = 10$ , such probabilities are calculated as in previously considered examples, by formula (11) and by equations (23) are given in table. 6.

Table 6.

Probabilities of finding a random value in intervals

| v                                   | P <sub>11</sub> <sup>(v)</sup> | P <sub>12</sub> <sup>(v)</sup> | P <sub>13</sub> <sup>(v)</sup> |
|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <i>p = 0.95, α = 0.05, β = 0.05</i> |                                |                                |                                |
| 1                                   | 0.37743                        | 0.53247                        | 0.09010                        |
| 2                                   | 0.45854                        | 0.42654                        | 0.11492                        |
| 3                                   | 0.48938                        | 0.38058                        | 0.13004                        |
| 4                                   | 0.50483                        | 0.35483                        | 0.14034                        |
| 5                                   | 0.51398                        | 0.33818                        | 0.14791                        |
| 6                                   | 0.51991                        | 0.32633                        | 0.15376                        |
| 7                                   | 0.54206                        | 0.31748                        | 0.15846                        |
| 8                                   | 0.52718                        | 0.31052                        | 0.16230                        |
| 9                                   | 0.52952                        | 0.30492                        | 0.16556                        |
| 10                                  | 0.53143                        | 0.30021                        | 0.16836                        |
| 11                                  | 0.53294                        | 0.29624                        | 0.17082                        |
| 12                                  | 0.53420                        | 0.29286                        | 0.17294                        |
| 13                                  | 0.53526                        | 0.28991                        | 0.17483                        |
| 14                                  | 0.53616                        | 0.28728                        | 0.17656                        |
| 15                                  | 0.53695                        | 0.28495                        | 0.17810                        |

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

Continuation Table 6

| $\nu$   | $P_{11}^{(\nu)}$ | $P_{12}^{(\nu)}$ | $P_{13}^{(\nu)}$ |
|---|------------------|------------------|------------------|
| <i><math>p = 0.95, \alpha = 0.10, \beta = 0.05</math></i> |                  |                  |                  |
| 1   | 0.35150          | 0.54141          | 0.10709          |
| 2   | 0.42620          | 0.43494          | 0.13886          |
| 3   | 0.45348          | 0.38832          | 0.15820          |
| 4   | 0.46651          | 0.36208          | 0.17141          |
| 5   | 0.47380          | 0.34508          | 0.18112          |
| 6   | 0.47837          | 0.33298          | 0.18865          |
| 7   | 0.48139          | 0.32392          | 0.19469          |
| 8   | 0.48353          | 0.31682          | 0.19965          |
| 9   | 0.48509          | 0.31106          | 0.20385          |
| 10  | 0.48630          | 0.30624          | 0.20746          |
| 11  | 0.48716          | 0.30217          | 0.21067          |
| 12  | 0.48791          | 0.29871          | 0.21338          |
| <i><math>p = 0.95, \alpha = 0.10, \beta = 0.10</math></i> |                  |                  |                  |
| 1   | 0.25507          | 0.63637          | 0.10856          |
| 2   | 0.32674          | 0.53234          | 0.14092          |
| 3   | 0.35760          | 0.48177          | 0.16063          |
| 4   | 0.37411          | 0.45181          | 0.17408          |
| 5   | 0.38424          | 0.43179          | 0.18397          |
| 6   | 0.39107          | 0.41730          | 0.19163          |
| 7   | 0.39594          | 0.40628          | 0.19778          |
| 8   | 0.39959          | 0.39757          | 0.20284          |
| 9   | 0.40243          | 0.39046          | 0.20711          |
| 10  | 0.40472          | 0.38449          | 0.21079          |

The probabilities P12 and P13 are transient, and P11 is the delay probability, for each number of degrees of freedom such probabilities are calculated (Fig. 2).

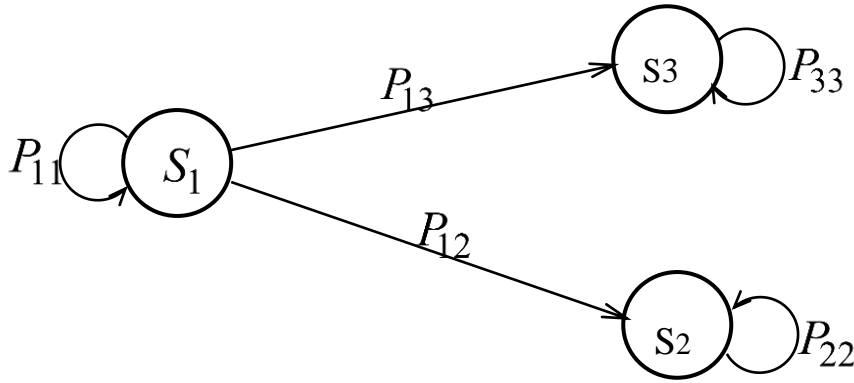


Fig. 2. State graph of a random Markov process for determining the maximum number of control measurements

To determine the maximum number of measurements at which the analysis process will end, make a graph of states, which is shown in Fig. 2, circular arrows indicate the probabilities of delay in the respective states, and the directions of transition of the analysis process from state to state

From fig. 2 shows that the measurement analysis process is in one of the states:

$S_1$  - measurement must be continued;

$S_2$  - measurements are accepted as benign;

$S_3$  - measurements are missing.

There will be three delays for this state graph:  $P_{11}$ ,  $P_{22}$ ,  $P_{33}$ , for this state graph these probabilities are equal to

$$\begin{aligned} P_{11} &= 1 - (P_{12} + P_{13}); \\ P_{22} &= 1 \\ P_{33} &= 1 \end{aligned} \quad (24)$$

For each number of degrees of freedom, a square matrix of transient transition probabilities and delay probabilities is formed, and the delays probabilities are on the main diagonal of the matrix, ie

$$\left| P_{ij}^{(v)} \right| = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{vmatrix} \quad (25)$$

index ( $\nu$ ) indicates the number of degrees of freedom, when the number of degrees of freedom  $\nu = 1$  matrix of transient probabilities (Table 6) will take the form

$$[P_{ij}^{(1)}] = \begin{bmatrix} 0.37743 & 0.53247 & 0.09010 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

At the initial moment, when one control measurement is performed, the analysis process is in state  $S_1$ , and control measurements must be continued. The probabilities of states or the probability that the analysis process will be in the appropriate states before the measurements at  $\nu = 0$  will be equal to  $P_1(0) = 1, P_2(0) = 0, P_3(0) = 0$ . The probabilities of states at stage  $\nu = 1$  and the following are the product of the matrix - the row of the previous stage to the square matrix of transition probabilities of the current stage, ie

$$|P_1(\nu), P_2(\nu), P_3(\nu), | = |P_1(\nu - 1), P_2(\nu - 1), P_3(\nu - 1), | * \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} \quad (26)$$

For the number of degrees of freedom  $\nu = 1$  the probabilities of the states will be equal  $P_1(1) = 1 * 0.37743 + 0 * 0 + 0 * 0 = 0.37743, P_2(1) = 1 * 0.53247 + 0 * 1 + 0 * 0 = 0.53247, P_3(1) = 1 * 0.09010 + 0 * 0 + 0 * 1 = 0.09010. P_1(1) + P_2(1) + P_3(1) = 1.00000$ .

With the number of degrees of freedom  $\nu = 2$  and the matrix of transient probabilities (Table 6) will take the form

$$[P_{ij}^{(2)}] = \begin{bmatrix} 0.45854 & 0.42654 & 0.11492 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

By formula (26) we find the probabilities of all three states and their sum:

$P_1(2) = 0.37743 * 0.45854 = 0.17307, P_2(2) = 0.37743 * 0.42654 + 0.53247 = 0.69346, P_3(2) = 0.37743 * 0.11492 + 0.09010 = 0.13347, P_1(2) + P_2(2) + P_3(2) = 1.00000$ .

Subsequent calculations for the next number of degrees of freedom were performed similarly. For  $\nu = 15$  and  $\nu = 16$  the probabilities of the states will be equal accordingly:

$P_1(15) = 0.00004, P_2(15) = 0.81849, P_3(15) = 0.18147, P_1(15) + P_2(15) + P_3(15) = 1.00000$

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

$$P_1(16)=0.00002, \quad P_2(16)=0.81850 \quad P_3(16)=0.18148, \quad P_1(16)+ P_2(16)+ P_3(16)=1.00000$$

Thus, the Markov random process established that the process of sequential analysis of control measurements will end for the number of degrees of freedom  $\nu = 17$  with probabilities of states equal to  $P_1(17)=0.00001$ ,  $P_2(17)=0.81851$   $P_3(17)=0.18148$ ,  $P_1(17)+ P_2(17)+ P_3(17)=1.00000$ , with the accuracy of calculating the probabilities of states  $10^{-5}$  by making one of two decisions: measurements are taken as benign with a probability of 0.81851 or measurements are missing with a probability of 0.18148, the probability of continuing control measurements after  $\nu = 17$  will be small and 0.00001 and will continue to decline, and analysis will end for data  $p = 0.95$ ,  $\alpha = \beta = 0.05$ . In general, sequential analysis can end with a much smaller degree of freedom. It should be noted that the probability of rejecting work 0.18148 is quite strict, which means that such data should be taken to calculate the acceptance and rejection numbers to control the quality of very responsible work.

From the calculation of the maximum number of control measurements we can conclude that the choice of probabilities  $p$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  is correct, also such calculation is important for planning control - geodetic measurements.

Calculated probabilities of states for  $p = 0.95$ ,  $\alpha = 0.10$ ,  $\beta=0.05$ , when the number  $\nu = 12$ , is equal to  $P_1(12)=0.00009$ ,  $P_2(12)=0.79738$   $P_3(12)=0.20254$ ,  $P_1(12)+ P_2(12)+ P_3(12)=1.00000$ . The maximum number of control measurements will be 15, with the accuracy of the calculation of states  $10^{-5}$ , it is seen that the probability of rejection is increased compared to the first case.

But the probabilities of states for  $\nu = 10$  are equal  $P_1(10)=0.00004$ ,  $P_2(10)=0.83346$ ,  $P_3(10)=0.16650$ ,  $P_1(10)+ P_2(10)+ P_3(10)=1.00000$ , this means that one of the six ( $1: 0.16650 = 6$ ) surveyed areas will be rejected, but this does not mean that the entire survey will be rejected, as the most vulnerable areas are selected for control.

In this case, the probability of rejection is reduced compared to the first and second case, and the maximum number  $\nu = 12$ .

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

From these three calculations of the maximum number of control measurements it can be concluded that to control the quality of less responsible types of work, the confidence probability  $p$  should be reduced and the probabilities  $\alpha$ ,  $\beta$  increased by small values (0.10), while the probability of rejection will decrease.

5. On the number of measurements of line lengths by light rangefinders in polygonometry

How many measurements of line lengths must be made depending on the class (or category) of polygonometry, the accuracy of the device and meteorological conditions of the environment. To do this, use the mathematical apparatus of probably statistical sequential analysis.

It is known that under favorable weather conditions (when it is cloudy and cool) the convergence of measurement results with light rangefinders is good, and under adverse weather conditions in summer, when there are cool sunny days, the convergence of measurement results is poor. We can conclude that in the first case you can limit yourself to a few dimensions, and the second 10 ÷ 15 dimensions, and sometimes reject them and move to another time (day).

Particularly unfavorable conditions occur when in clear weather part of the line we measure falls in the solar zone, and part in the shadow, or passes over the water surface, it is obvious that this disadvantage is caused by differences in temperature and humidity of these zones. Another type of adverse conditions is when a shaky object (tree branch) falls into the line of measurement. In such cases, the discrepancy of measurements will be significant, respectively, and their accuracy will be lower compared to the accuracy in favorable conditions with the same number of measurements in both cases, there are more and less favorable conditions of measurement, but in nature there are many others (intermediate ) conditions that are almost impossible to take into account, and in each case the scope of measurement results will be different with an equal number of measurements.

To determine the number of measurements it is necessary to determine the acceptance and rejection numbers, for the calculation of which it is necessary to establish the values of the standards  $\sigma(x)$  of linear measurements in polygonometry.

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

Denote the denominator of the relative error of the stroke  $[ ] T$ , the denominator of the average relative error after  $2 * T$ , the denominator of the average relative error of linear measurements is determined from the expression

$$T_l = T * \sqrt{2}. \quad (27)$$

These values are given in table. 7

Table 7.

Line lengths and denominators of relative errors in polygonometry

| Indicators   | Polygonometry |            |            |
|--|---------------|------------|------------|
|  | 4 class       | 1 category | 2 category |
| Line length:<br>the largest, m   | 3000          | 800        | 500        |
| the smallest, m  | 250           | 120        | 80         |
| Relative error of<br>course $1:T$  | 1: 25000      | 1: 10000   | 1: 5000    |
| The denominator<br>of the average<br>relative error $2*T$                              | 50000         | 20000      | 10000      |
| The denominator<br>of the average<br>relative error of<br>linear<br>measurements $T_l$ | 70710.678     | 28284.271  | 14142.136  |
| Standard of a<br>separate<br>measurement<br>result, at $n =4$ , mm                     | 7.071         | 8.485      | 11.314     |



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The standard root mean square deviation of the arithmetic mean of linear measurements is determined by the minimum side length of the expression on(1 category)

$$\sigma(x_{cp}) = \frac{l_{min}}{T_l}. \quad (28)$$

Since it is not known in advance at what number the measurements will end, it is impossible to determine the exact value of the standard of a single measurement  $\sigma(x)$ . However, sequential analysis must begin after at least three measurements, so for the calculations we take the number of measurements  $n = 4$ . The standard of a single measurement result will be

$$\sigma(x) = \sigma(x_{cp}) * \sqrt{n}, \quad (29)$$

at  $n$  equal to five, six, and so on, its value will increase. Therefore, for the calculation standard, for four measurements, the accuracy of the linear measurements will be slightly inflated compared to if the measurements ended at five, six, and so on, and vice versa, the accuracy will be slightly lower for three measurements. Given (28) and the accepted average number of endings of measurements  $n = 4$ , the standard of a separate measurement result

$$\sigma(x) = \sqrt{n} * \frac{l_{min}}{T_l}. \quad (30)$$

The values calculated by formula (30) are given in table. 7.

To determine the constant light rangefinder on a field comparator with a length of 120 m, set the relative error of 1: 120000 and the average number of measurements  $n = 16$ , then the standard of a single measurement will be

$$\sigma(x) = \sqrt{n} * \frac{l_{min}}{T_l} = 4 * \frac{120000}{120000}.$$

With a confidence interval  $p = 0.95$ , probability values  $\alpha = \beta = 0.05$  and for the obtained values of standards, in accordance with formulas (8), calculated acceptance and rejection numbers, which are given in table. 8.

Table 8.

Acceptance and rejection numbers for measuring line lengths

| $v$ | Comparison of<br>the light<br>rangefinder |       | Polygonometry |       |            |       |            |       |
|-----|---|-------|---------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|     |   |       | 4 class       |       | 1 category |       | 2 category |       |
|     | $a_v$                                     | $r_v$ | $a_v$         | $r_v$ | $a_v$      | $r_v$ | $a_v$      | $r_v$ |
| 1   | 8   | 46    | 26            | 144   | 38         | 207   | 68         | 368   |
| 2   | 18  | 69    | 56            | 216   | 80         | 312   | 142        | 554   |
| 3   | 28  | 90    | 89            | 282   | 128        | 407   | 228        | 723   |
| 4   | 40  | 111   | 125           | 346   | 180        | 498   | 320        | 885   |
| 5   | 52  | 130   | 162           | 408   | 234        | 578   | 416        | 1044  |
| 6   | 64  | 150   | 201           | 469   | 290        | 675   | 515        | 1199  |
| 7   | 77  | 169   | 241           | 529   | 347        | 761   | 616        | 1353  |
| 8   | 90  | 188   | 281           | 588   | 405        | 847   | 720        | 1505  |
| 9   | 103                                       | 207   | 322           | 647   | 464        | 931   | 824        | 1656  |
| 10  | 116                                       | 226   | 363           | 705   | 523        | 1015  | 930        | 1805  |
| 11  | 130                                       | 244   | 405           | 763   | 584        | 1099  | 1038       | 1954  |
| 12  | 143                                       | 263   | 448           | 821   | 644        | 1182  | 1146       | 2101  |
| 13  | 157                                       | 281   | 490           | 878   | 706        | 1264  | 1255       | 2248  |
| 14  | 171                                       | 299   | 533           | 935   | 767        | 1347  | 1364       | 2394  |
| 15  | 184                                       | 317   | 576           | 992   | 829        | 1429  | 1474       | 2540  |
| 16  | 198                                       | 336   | 619           | 1049  | 892        | 1510  | 1585       | 2685  |
| 17  | 212                                       | 354   | 663           | 1105  | 954        | 1591  | 1697       | 2829  |
| 18  | 226                                       | 372   | 706           | 1161  | 1017       | 1672  | 1808       | 2973  |
| 19  | 240                                       | 390   | 750           | 1218  | 1080       | 1753  | 1921       | 3117  |
| 20  | 254                                       | 407   | 794           | 1273  | 1144       | 1834  | 2033       | 3260  |

Sequential analysis of measurements according to the above method should be used when comparing light rangefinders. It is assumed that the actual length of the measured value is unknown, as the constant correction of the light meter is unknown,

which must be determined, so the analysis should start with the second measurement and use the receiving and rejection numbers of the first measurement. so on.

For example, the comparison of the ST - 5 light rangefinder is performed, the first ten results of measurements in meters are obtained: 120.006, 120.004, 120.005, 120.012, 120.004, 120.011, 120.008, 120.003, 120.006, 120.000. The arithmetic mean  $X(10)_{cp} = 120.0059m$ , the sum of the squares of the deviations  $[\delta^2]_{10} = 119$ , compare it with the acceptance and rejection numbers at  $\nu = 9$  (Table 8), we obtain the inequality  $a_9 = 103 < 119 < r_9 = 207$ , from this we conclude that the measurement should be continued. Five more measurements were performed 120.002, 120.010, 120.006, 120.008, 120.004. According to fifteen measurement results, the average value of  $X(15)_{cp} = 120.0059m$ , the sum of the squares of the deviations  $[\delta^2]_{15} = 159 < a_{14} = 171$ , so we finish the measurement and consider them of good quality. If it turns out that  $[\delta^2]_{15} > r_{14} = 299$ , then the measurement should be rejected and choose more favorable conditions for comparison.

When analyzing linear measurements, it is desirable that the display of the rangefinder shows not only the measurement result, but also the average value, the accumulated sum of squares of deviations, and the error of the arithmetic mean. Of course, it would be better if the calculator's memory could be stored and rejected numbers and that the analysis of measurements was automatically performed with a conclusion about their quality.

In linear measurements in polygonometry, sequential analysis is used in a simple form, but one that provides the required accuracy.

According to the calculated acceptance and rejection numbers Table (8), we find the value of the scale of measurements from the expressions:

$$\begin{cases} R_a = f_n * m_a \\ R_r = f_n * m_r \end{cases} \quad (31)$$

where  $f_n$  is the coefficient selected from the tables depending on the number of measurements [28];  $m_a$  and  $m_r$  are the root mean square errors of the acceptance and rejection numbers, which are determined by the formulas:

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

$$\left. \begin{aligned} m_a &= \sqrt{\frac{a_\nu}{n-1.45}} \\ m_r &= \sqrt{\frac{r_\nu}{n-1.45}} \end{aligned} \right\} . \quad (32)$$

In these formulas, the number of degrees of freedom  $\nu = n - 1.45$ . It is known that with the normal distribution of measurement errors and their small number, use the numbers of degrees of freedom not  $(n - 1)$ , but  $(n - 1.45)$ , if the true value of the measured value is unknown [1].

Based on the table. 8, the values of the coefficient  $f_n$ , formulas (30) and (31), the calculated values of the scope are given in table. 9.

Table 9.

Coefficients of the range of measurement of line lengths

| $n$ | $f_n$ | Polygonometry |       |            |       |            |       |
|-----|-------|---------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|     |       | 4 class       |       | 1 category |       | 2 category |       |
|     |       | $R_a$         | $R_r$ | $R_a$      | $R_r$ | $R_a$      | $R_r$ |
| 3   | 1.69  | 10            | 20    | 12         | 24    | 16         | 32    |
| 4   | 2.06  | 12            | 22    | 15         | 26    | 19         | 35    |
| 5   | 2.33  | 14            | 23    | 17         | 28    | 22         | 37    |
| 6   | 2.53  | 15            | 24    | 18         | 29    | 24         | 38    |
| 7   | 2.70  | 16            | 25    | 20         | 30    | 26         | 40    |
| 8   | 2.85  | 17            | 26    | 21         | 31    | 28         | 41    |
| 9   | 2.97  | 18            | 26    | 22         | 31    | 29         | 42    |
| 10  | 3.08  | 19            | 27    | 23         | 32    | 30         | 43    |
| 11  | 3.17  | 20            | 27    | 23         | 32    | 31         | 44    |
| 12  | 3.26  | 20            | 28    | 24         | 33    | 32         | 44    |
| 13  | 3.34  | 21            | 28    | 25         | 33    | 33         | 45    |
| 14  | 3.41  | 21            | 28    | 26         | 34    | 34         | 46    |
| 15  | 3.48  | 22            | 29    | 26         | 34    | 35         | 46    |
| 16  | 3.53  | 22            | 29    | 27         | 35    | 36         | 47    |
| 17  | 3.59  | 23            | 29    | 27         | 35    | 37         | 47    |

Continuation of Table 9

| $n$ | $f_n$ | Polygonometry |       |            |       |            |       |
|-----|-------|---------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|     |       | 4 class       |       | 1 category |       | 2 category |       |
|     |       | $R_a$         | $R_r$ | $R_a$      | $R_r$ | $R_a$      | $R_r$ |
| 18  | 3.64  | 23            | 30    | 28         | 36    | 37         | 48    |
| 19  | 3.69  | 24            | 30    | 28         | 36    | 38         | 48    |
| 20  | 3.74  | 24            | 30    | 28         | 36    | 38         | 48    |

This table is used for linear measurements in polygonometry with a rangefinder ST - 5.

The swing efficiency at the number of measurements  $n = 2$  is equal to 1.00, and for  $n = 5; 10; 15; 20$  and  $25$ , it will be 0.96, respectively; 0.85; 0.77; 0.70 and 0.65, which shows that the highest efficiency will be at  $n < 10$ , and then it decreases.

Measurements almost end at  $n < 10$ , occasionally when the number of measurements reaches 15.

Consecutive analysis of measurements on their scope is performed when the number of measurements is not less than two, but it is better to do it with three or more measurements.

For example, the results of measurements in polygonometry 1 - discharge in meters: 150.211, 150.208, 150.200. The scope is:  $R = x_{\max} - x_{\min} = 150.211 - 150.200 = 0.011\text{m}$ , or 11 mm. Using the table. 9, we find that  $R = 11\text{mm} < Ra_3 = 12\text{mm}$ , respectively, we can conclude that the measurements should be stopped and considered benign.

For example, there are three measurement results in meters: 171.337, 171.343, 171.351, span  $R = 14$  mm, which is in the range  $Ra_3 = 12 < R = 14 < Rr_3 = 24$ , respectively, you need to continue the measurement, and perform another measurement - 171.336 m , respectively, for four measurements, the range  $R = 15$  mm, which will be equal to the receiving range  $Ra_4 = 15$  mm, which means that we stop the measurements and consider them benign.

For example, three measurements were performed in meters: 180.211, 180.217, 180.232 as  $Ra_3 = 12 < R = 14 < Rr_3 = 24$ , the measurement is continued, as a result of

the fourth measurement 180,240 m are obtained. The span  $R = 29 > Rr_4 = 26$  mm, respectively the obtained results must be rejected and the reason found out, it is possible that an object that is oscillating got into the line of the measured line.

For example, three measurements were made in meters: 201.451, 201.454, 201.478 since  $R = 27 > Rr_3 = 24$  mm, such results must be rejected. Given that the first two results differ by only 3 mm, exclude the third measurement and continue the measurement, we obtain 201.467, 201.457, 201.459. The scope of the five measurements is  $R = 16 < Ra_5 = 17$  mm, so we stop the measurements and consider them of good quality.

Thus, the sequential analysis is performed quite simply and quickly using the table. 9 and at the same time it is quite reasonable to stop the measurement, with a certain number of measurements, which eliminates the uncertainty regarding the number of measurements.

Using the table. 9 it is possible to perform the analysis of the measurements made by light rangefinders of various accuracy. In this case, for rangefinders with greater accuracy, the measurements will end with fewer, and for rangefinders with less accuracy with more measurements. In general, the number of measurements will be regulated in the process of their sequential analysis.

$n$  accordance with the instruction [25], the root mean square error of measuring distances with a light rangefinder CT - 5 is determined by the formula

$$m_d = (10 + 5 * 10^{-6} * D)mm \quad (33)$$

і для електронного тахеометра за формулою

$$m_d = (5 + 3 * 10^{-6} * D)mm, \quad (34)$$

where  $D$  - is the measured distance in meters.

## 6. One of the methods of finding the correlation coefficient in geodetic measurements

A formula for determining the correlation coefficients is proposed, according to which with a small number of measurements the values of the coefficients will be larger

compared to the values calculated by known formulas, ie these values will be less offset relative to the true values of correlation coefficients.

In geodesy in general are limited to a small number of measurements, in photogrammetry at mutual orientation of pictures of a stereo pair in an automatic mode at identification of points on the left and right pictures it is necessary to calculate precisely values of correlation coefficients.

Known [] with a small number of measurements in the case of dependent series of measurements, the correlation coefficient calculated by a known formula

$$r_0 = [\sum_{i=1}^n \delta(x_i)\delta(y_i)] / [(n - 1)\sigma(x)\sigma(y)], \quad (35)$$

will be underestimated. In this formula, the deviations  $\delta(x_i)$  and  $\delta(y_i)$  are from the expressions

$$\delta(x_i) = x_i - x_c; \quad \delta(y_i) = y_i - y_c, \quad (36)$$

where  $x_i, y_i$  - measurements in the series  $X$  and  $Y$ ;  $x_c, y_c$  - arithmetic mean values for these series of measurements.

Empirical standards or root mean square errors of the results of measurements on the series  $X$  and  $Y$  are determined by known formulas:

$$\begin{aligned} \sigma(x) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta(x_i)^2 / (n - 1)}; \\ \sigma(y) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta(y_i)^2 / (n - 1)}, \end{aligned} \quad (37)$$

where  $n$  is the number of measurements in a row.

There is a formula by which you can find more accurate values of the correlation coefficient:

$$r' = r_0 \{1 + (1 - r_0^2) / [2 * (n - 3)]\}, \quad (38)$$

but this formula, as it turns out when the number of measurements  $n > 5$  gives a slightly underestimated value of the correlation coefficient.

First, let's focus on the equations of direct regression for two dependent series of measurements  $X$  and  $Y$ , such as:

$$y = b_1 + k_1 * x; \quad x = b_2 + k_2 * y. \quad (39)$$

In these equations, the values of  $b_1$  and  $b_2$  are represented by expressions



$$\begin{aligned} b_1 &= y_c - k_1 * x_c, \\ b_2 &= x_c - k_2 * y_c. \end{aligned} \quad (40)$$

Regression coefficients or angular coefficients  $k_1$  and  $k_2$  can be found by formulas

$$\begin{aligned} k_1 &= \sum_{i=1}^n \delta(x_i) * \delta(y_i) / \sum_{i=1}^n \delta^2(x_i); \\ k_2 &= \sum_{i=1}^n \delta(x_i) * \delta(y_i) / \sum_{i=1}^n \delta^2(y_i). \end{aligned} \quad (41)$$

Formula (35) for determining the correlation coefficient can be represented taking into account (41) as follows:

$$|r_0| = \sqrt{k_1 * k_2}. \quad (42)$$

If the regression equations (39) coincide, ie the angle between these lines  $\varphi = 0$ , the correlation coefficient will be equal to 1,  $r_0 = 1$ . With increasing angle, the correlation relationship decreases and when  $\varphi = \pi / 2$ , this relationship is zero, ie  $r_0 = 0$ . Thus, the correlation coefficient will depend on the angle between the direct regression equations (39), such a dependence is proposed to be represented as

$$r = 1 - 2 * \varphi / \pi, \quad (43)$$

where  $\varphi$  is the numerical value of the angle in radians (degrees).

To find the angle  $\varphi$  we use the formula of the angle between two lines, for this we find the second equation (39) with respect to  $y$ , then this system will take the form

$$\begin{aligned} y &= b_1 + k_1 * x \\ y &= -b_2/k_2 + (1/k_2) * x. \end{aligned} \quad (44)$$

Then the angle between the two lines will be determined as

$$\tan \varphi = (1/k_2 - k_1) / (1 + k_1/k_2) = (1 - k_1 * k_2) / (k_1 + k_2) \quad (45)$$

Given (45) and (43), the formula of the correlation coefficient will look like

$$r = 1 - 2/\pi * \tan^{-1}[(1 - k_1 * k_2) / (k_1 + k_2)]. \quad (46)$$

The resulting formula is used to calculate the correlation coefficient with a positive correlation. In expression (41) the coefficients  $k_1$  and  $k_2$  can only be with the same signs, since in their expressions the same numerator and denominators are always positive values. The product of the coefficients  $k_1$  and  $k_2$  in accordance with (42), and the fact that  $|r_0| \leq 1$  will

$$0 \leq k_1 * k_2 \leq 1. \quad (47)$$

Therefore, the numerator in (45) will be a positive value, ie

$$1 - k_1 * k_2 \geq 0. \quad (48)$$

Accordingly, the sign of the fraction in (45) will depend on the sign of the denominator, which in turn depends on the sign of the coefficients  $k_1$  and  $k_2$ .

In the case of a negative correlation, when an increase in one value corresponds to a decrease in another, the signs of the coefficients  $k_1$  and  $k_2$  will be negative, then the angle  $\varphi$  will be negative, and the formula of the correlation coefficient will take the form

$$r = -1 - 2/\pi * \tan^{-1}[(1 - k_1 * k_2)/(k_1 + k_2)]. \quad (49)$$

Consider examples of calculating correlation coefficients, first with a positive relationship. At the point of triangulation, the directions were measured by twelve techniques according to the method of circular techniques, deviations from the average values of the directions are presented in table. 10.

Table 10.

Deviation of the measured directions from the average values

| Receptions | $\delta(x_i)$ | $\delta(y_i)$ | Receptions | $\delta(x_i)$ | $\delta(y_i)$ |
|------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|
| 1          | -2.18         | +0.57         | 7          | -0.48         | -1.13         |
| 2          | -2.38         | -2.03         | 8          | -0.98         | -1.03         |
| 3          | +0.62         | +1.17         | 9          | +2.32         | +0.77         |
| 4          | -0.38         | +0.07         | 10         | +0.42         | -0.23         |
| 5          | +0.82         | +2.07         | 11         | +2.32         | +1.97         |
| 6          | +0.02         | -1.63         | 12         | -0.08         | -0.53         |

According to table1  $\sum \delta(x_i) * \delta(y_i) = 13.807$ ;  $\sum \delta^2(x_i) = 23.757$ ;

$$\sum \delta^2(y_i) = 19.907; \quad k_1 = 0.5812; \quad k_2 = 0.6936.$$

The correlation coefficient is calculated by the formula (45) or (42)  $r_0 = 0.635$ , according to the formula (38)  $r' = 0.656$  , according to the formula (46)  $r = 0.721$ .

This example shows that the correlation coefficient calculated by formula (38) is greater by 0.021, and by formula (35) is greater by 0.086 compared to its value calculated by formulas (35) or (42).

Consider a negative correlation. For two series of measurements at  $n = 5$ , the following values were obtained  $\sum \delta(x_i) * \delta(y_i) = -0.41$ ;  $\sum \delta^2(x_i) = 0.72$ ;

$\sum \delta^2(y_i) = 0.84$ ;  $k_1 = -0.5694$ ;  $k_2 = -0.4881$  , the correlation coefficient in this case is calculated by the formula

$$r_0 = \sum_{i=1}^n \delta(x_i) * \delta(y_i) / \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta^2(x_i) * \sum_{i=1}^n \delta^2(y_i)} = -0.527. \quad (50)$$

According to formula (38) the coefficient  $r' = -0.622$ , and according to formula (49)  $r = -0.619$ , then for the number of measurements  $n = 5$  the correlation coefficients, which are calculated by formulas (38) and (46) are almost the same, but necessary Note that in the study of correlation, the number of measurements is always more than five, so it is proposed to calculate the correlation coefficient by formula (46), the value of which will be plausible in comparison with the values found by formulas (35), (42), (50) and by formula (38) when the number of measurements is more than five.

Let us investigate the proposed new formula for calculating the correlation coefficient. First, we show that the number of measurements  $n$  in the series in which the correlation coefficients, which are calculated by formulas (38) and (46), is approximately the same and varies around five. To do this, formula (46) is presented in another form. From formula (42) it is seen that the correlation coefficient is equal to the geometric mean of the coefficients  $k_1$  and  $k_2$ . If  $(k_1 + k_2) : 2$  is the arithmetic mean,  $k_1 = k_2 = r_0$ , which follows from (42), then

$$k_1 + k_2 = 2 * r_0. \quad (51)$$

Given (51), expression (46) will take the form

$$r = 1 - 2/\pi * \tan^{-1}[(1 - r_0^2)/(2 * r_0)]. \quad (52)$$

For the example given earlier with a positive correlation  $r_0 = 0.635$ , we substitute this value in (4), we obtain  $r = 0.720$ . According to the formula (46)  $r = 0.721$ , it is seen that these obtained values are practically equal, and the difference between the coefficients  $k_1 - k_2 = 0.69 - 0.58 = 0.11$  is quite significant.

To find the number of measurements  $n$  at which the correlation coefficients calculated by formulas (38) and (52) will be equal, for this we equate the right-hand sides of equations (38) and (52), we obtain

$$r_0 * \left[ 1 + \frac{1-r_0^2}{2*(n-3)} \right] = 1 - \frac{2}{\pi} * \tan^{-1} \frac{1-r_0^2}{2*r_0} \quad (53)$$

From expression (53) we will find

$$n = \frac{r_0(1-r_0^2)}{2*\left(1-r_0-1-\frac{2}{\pi}*\tan^{-1}\frac{1-r_0^2}{2*r_0}\right)} + 3 \quad (54)$$

Given different values of the correlation coefficient  $r_0$ , we determine the value of  $n$  by expression (54), they are given in table. 11.

Table. 11

Number of measurements

|       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $r_0$ | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.99 |
| $n$   | 4.8  | 4.8 | 4.9 | 4.9 | 5.0 | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 5.4 | 5.6 | 5.7  |

From the table. Table 11 shows that the equality of correlation coefficients found by formulas (38) and (46) or (52) corresponds to the number of measurements of about five.

To compare the values of the coefficients obtained by different formulas, it is first necessary to obtain formulas by which it is possible to find the coefficients  $k_1$  and  $k_2$  depending on the given values of  $\rho$  - the theoretical value of the correlation coefficient.

For equilibrium measurements in two rows  $x$  and  $y$ , the maximum allowable ratio of empirical variances is determined by the inequality [30]

$$\frac{\sigma^2(x)}{\sigma^2(y)} \leq Fq, \quad (\sigma(x) \geq \sigma(y)) \quad (55)$$

Where  $F_q$  is the variance ratio, which is selected from the table  $F$  - distribution depending on the level of significance  $q$  and the number of degrees of freedom  $n - 1$ . Given formulas (37) and (41) and (55), the variance ratio will be presented as

$$\frac{\sigma^2(x)}{\sigma^2(y)} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta^2(x_i)}{\sum_{i=1}^n \delta^2(y_i)} = \frac{k_2}{k_1} = Fq \quad (56)$$

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Consider the case when the ratio of the coefficients  $k_2$  and  $k_1$  will be maximum, then the values of the correlation coefficients, which are determined by formulas (18) and (46) will have the largest difference. We compose a system of equations from (22) and (42), from the solution of which we find the coefficients  $k_1$  and  $k_2$

$$k_2/k_1 = Fq, k_1 * k_2 = r_0^2, \quad (57)$$

where

$$k_1 = \frac{r_0}{\sqrt{Fq}}; k_2 = r_0 * \sqrt{Fq} \quad .$$

(58)

For the significance level  $q = 0.10$  and the number of degrees of freedom  $n - 1 = 6 - 1 = 5$ , we find in the table the variance ratio  $F_q = 3.5$ , with such initial data the difference in the values of the correlation coefficient found by formulas (52) and (46) will be the largest, ie the worst case is considered.

Given different values of the theoretical correlation coefficient  $\rho$ , by formulas (58) we calculate the values of  $k_1$  and  $k_2$ , by formula (42) the coefficient  $r_0$ , by formula (38)  $r'$  by formulas (52) and (46)  $r$ , all these values are given in table 12.

Table 12

According to the values of the theoretical correlation coefficient  $\rho$ , we will calculate the values using formulas (58)  $k_1$  and  $k_2$ , according to formula (42) coefficient  $r_0$ , according to the formula (38)  $r'$ , according to the formulas (52) and (46)  $r$

| $\rho$ | Coefficients |         | Value of correlation coefficients |              |             |             |
|--------|--------------|---------|-----------------------------------|--------------|-------------|-------------|
|        | $k_1$        | $k_2$   | за (42) $r_0$                     | за (38) $r'$ | за (52) $r$ | за (46) $r$ |
| 0      | 0            | 0       | 0                                 | 0            | 0           | 0           |
| 0.1    | 0.05345      | 0.18708 | 0.100                             | 0.116        | 0.127       | 0.152       |
| 0.2    | 0.10690      | 0.37417 | 0.200                             | 0.232        | 0.251       | 0.296       |
| 0.3    | 0.16036      | 0.56125 | 0.300                             | 0.346        | 0.371       | 0.427       |
| 0.4    | 0.21381      | 0.74833 | 0.400                             | 0.456        | 0.484       | 0.543       |
| 0.5    | 0.26726      | 0.95541 | 0.500                             | 0.562        | 0.590       | 0.645       |
| 0.6    | 0.32071      | 1.12250 | 0.600                             | 0.664        | 0.688       | 0.734       |

Continuation of table 12

|     |         |         |       |       |       |       |
|-----|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 0.7 | 0.37417 | 1.30958 | 0.700 | 0.760 | 0.778 | 0.813 |
| 0.8 | 0.42762 | 1.49666 | 0.800 | 0.848 | 0.859 | 0.882 |
| 0.9 | 0.48107 | 1.68375 | 0.900 | 0.928 | 0.933 | 0.944 |
| 1.0 | 0.53452 | 1.87083 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

The correlation coefficients calculated by formula (52) were found for  $k_1 = k_1$ , but the values of  $r$  found in (52) are greater than in formula (38). The largest values of the correlation coefficients are reached when finding by formula (46).

Let's give an example, the measured values of displacements of points are taken from work [33], which are given in table. 4, according to which the correlation coefficients, coefficients of the regression model (linear model) were calculated, as well as the analysis of the relationships between independent values was carried out  $S(h)$ ,  $S(x)$ ,  $S(y)$ .

Table 13.

Measured values of point displacements

| №<br>point<br>s | $S(h)$ ,<br>mm | $S(x)$ ,<br>mm | $S(y)$ ,<br>mm | №<br>points | $S(h)$ ,<br>mm | $S(x)$ ,<br>mm | $S(y)$ ,<br>mm | №<br>point<br>s | $S(h)$ ,<br>mm | $S(x)$ ,<br>mm | $S(y)$ ,<br>mm |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1               | -5,0           | -<br>12,0      | 5,0            | 8           | -4,0           | -<br>10,0      | -3,0           | 15              | -<br>11,0      | -8,0           | 12,0           |
| 2               | -5,5           | -<br>10,0      | 7,0            | 9           | -2,0           | -8,0           | 7,0            | 16              | -<br>13,0      | -8,0           | 9,0            |
| 3               | -6,0           | -4,0           | 15,0           | 10          | -2,5           | -5,0           | -1,0           | 17              | -<br>15,0      | -7,0           | -1,0           |
| 4               | -7,0           | -3,0           | 10,0           | 11          | -4,0           | -1,0           | 0,0            | 18              | -<br>13,5      | -4,0           | 0,0            |
| 5               | -5,0           | -7,0           | 9,0            | 12          | -5,0           | -5,0           | -4,0           | 19              | -<br>10,0      | 1,0            | 4,0            |
| 6               | -6,5           | 5,0            | 8,0            | 13          | -7,0           | 0,0            | 5,0            | 20              | -9,0           | 2,0            | 7,0            |
| 7               | -3,0           | 6,0            | -1,0           | 14          | -9,0           | 2,0            | 9,0            | 21              | -7,0           | 5,0            | 8,0            |

According to the measured values given in the table. 13, linear regression equations are defined

$$\begin{cases} y_i = 5.116392 + 0.034426 \cdot x_i \\ x_i = -3.56080 + 0.035971 \cdot y_i \end{cases} \quad (59)$$

The second equation (59) is rephrased according to equation (44), and we obtain

$$\begin{cases} y_i = 5.116392 + 0.034426 \cdot x_i \\ y_i = 98.993606 + x_i/0.35971 \end{cases} \quad (60)$$

According to the formula (45), we will find the angle between the lines (60), it will be

$$\varphi = 85.^{\circ} 9682159 = 85^{\circ} 58' 05." 58$$

Correlation coefficients between these values  $r_{h,x} = 0.012274$ ,  $r_{h,y} = -0.14465$ ,  $r_{x,y} = 0.03519$ , that is, they indicate that there is a linear relationship between the values  $S(h)$ ,  $S(x)$ ,  $S(y)$  does not have, and this is indicated by the fact that the angle between the regression equations is quite close to  $\pi/2$  [31]

Conclusions. Thus, as can be seen from table. 12 the estimate of the correlation coefficient starting from  $n = 6$ , which is performed by formula (38), will be shifted, so a more accurate estimate can be obtained by formula (46), formula (52) is not taken into account because it is obtained for the ideal case when  $k_1 = k_2 = r_0$ , this situation is rare. The values of  $r$  found by formula (52) will be less than those found by formula (46). In essence, the coefficients obtained by formula (46) will be maximum at the appropriate level of significance and the number of degrees of freedom, obtained on the basis that the level of significance  $q > 0.25$  and a large number of measurements,  $Fq \rightarrow 1$ .

Calculating more accurate values of correlation coefficients (normalized correlation moments) is important in digital photogrammetry in the mutual orientation and geodetic reference of a stereo pair of images, as well as in the study of systematic errors in a series of measurements. Underestimated values of correlation coefficients will affect the equations of the correlation function, and ultimately will give a distorted view of the magnitude of systematic errors.

### 1.4 Analysis of the interaction of groups of buildings within the boundaries of dense building

With the participation of the author, work was carried out on the technical inspection of buildings on Olena Stepanivna street in Lviv. The work was carried out in order to determine its actual technical condition and, if necessary, to provide recommendations on the elimination of identified deficiencies.

The structure of the street is regular with two-story and three-story buildings paired with each other and made in the style of historicism and secession. The situation diagram of the location of the building is shown in figure 1.



Figure 1. Situation diagram of the location of buildings ##31, 33, 33a, 33b on the Olena Stepanivna street

The main attention was paid to buildings #31 (an architectural monument of local importance) and #33 (Fig. 2). Both buildings are located in the area of the long-standing low-rise residential development of this street. The study of archival materials and the different sizes and colors of the bricks of the walls of the buildings indicate that house #31 was built before house #33.



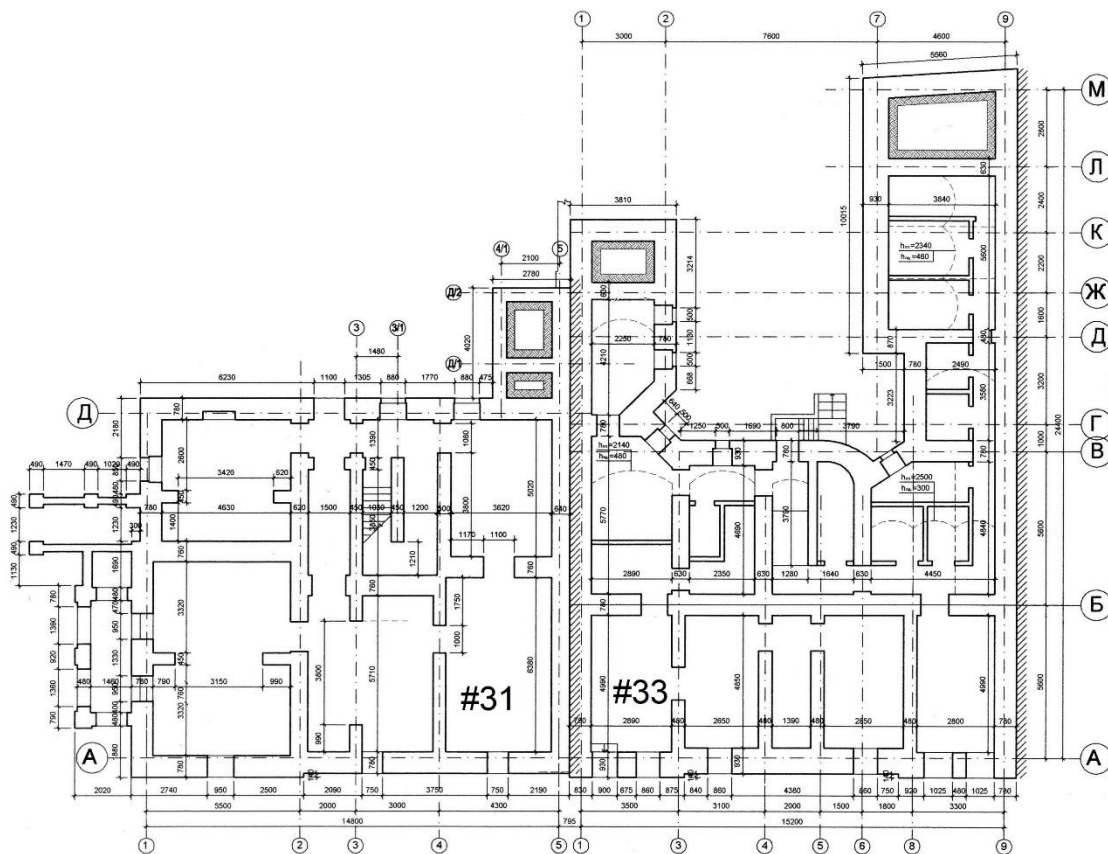


Figure 2. Basement floor plans of buildings #31 and #33

In order to take into account the impact of building #33 attached to building #31, the necessary data on the depth of laying the foundations of the existing building #33 as an extension to building #31 were determined and analyzed; characteristics of the base soils directly under the soles of the foundations; dimensions of foundation soles under bearing and self-supporting walls; materials of walls, foundations and other structural elements.

Overloading of foundations under the foundation of the load-bearing wall along axis "5" of building #31 and its increased subsidence caused by additional loading of the base of the foundation of building #33, which is located along this same axis "5" and lies 0,5 m above the base of the foundation along axis "5" building #31 (Fig. 3, 4). The soles of the foundations of building #33 along axis "1" are located in the backfill of the foundation along axis "5" of building #31, which was built 3 years earlier.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Figure 3. The sole of the foundation of building #31 is located 0,5 m below the sole of the foundation of building #33

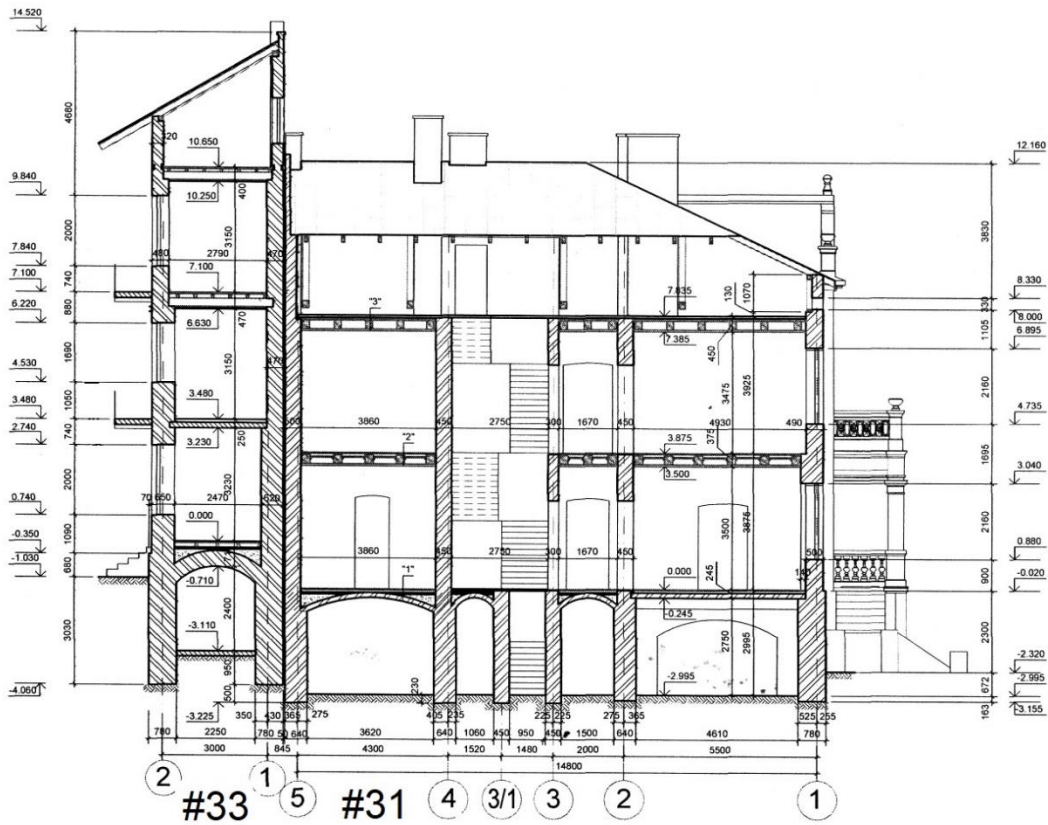


Figure 4. Cross section of buildings #33 and #31

During the inspection, it was determined that, first of all, the formation of cracks in the wall of building #33 should be considered as a consequence of the unsatisfactory operation of the drainage system in the building itself and from its yard. Rainwater

easily seeps into the sandy soils of the foundation, creating problems both in the foundations of building #33 itself and in the adjacent building #31.

Also, at the time of the survey, the actual spatial deformations of three grouped buildings #31, #33 and #33a were determined together with the foundations under their foundations, which made it possible to analyze their mutual influence, which is proposed to be carried out according to the norms [34].

The directions of tilts, bends and vertical displacements of buildings #31, #33 and #33a are recorded, calculated and shown on the graphs (Figs. 5, 6, 7).

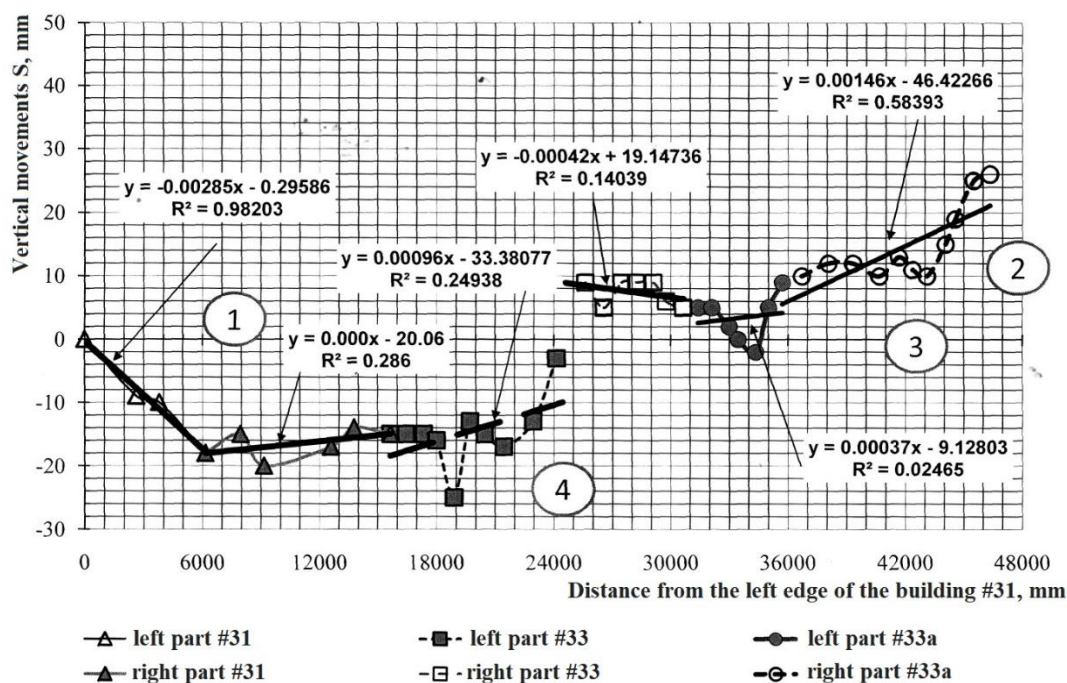


Figure 5. The nature of the distribution of measurements of vertical deformations along the lengths of the front walls of four buildings #31 (1), #33 (4), #33a (3) and #33b (2) (numbers 1-4 – construction sequence). Integral distribution of deformations obtained by approximating experimental data with linear equations



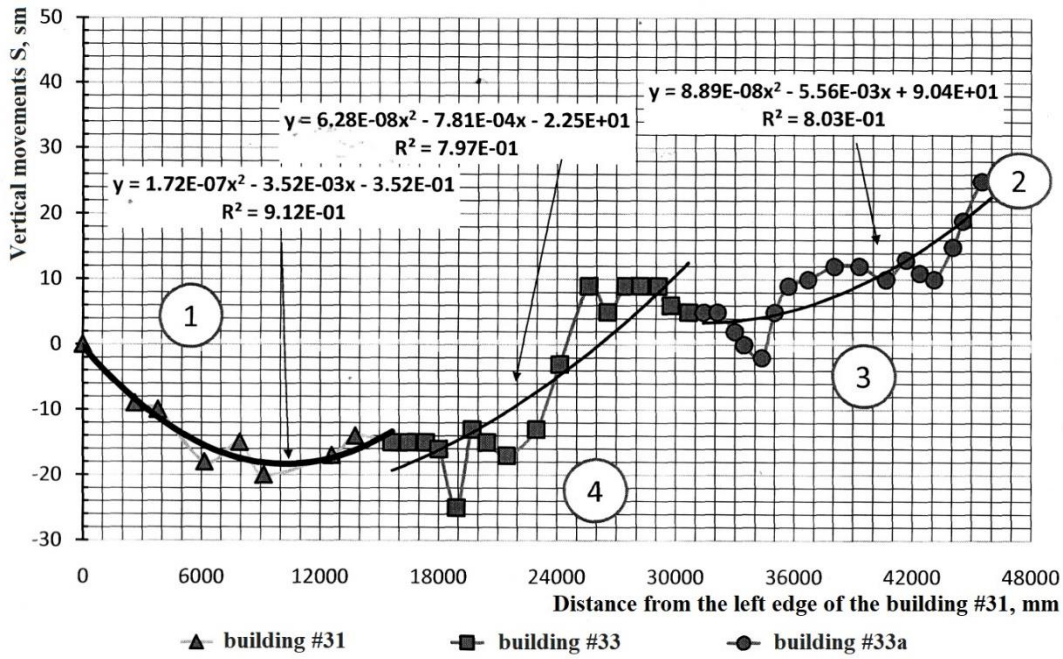


Figure 6. Distribution of vertical deformations along the length of the front walls of three buildings ##31, 33, 33a. Integral regularities of their distribution obtained by approximating the measured data by polynomial equations of the second degree

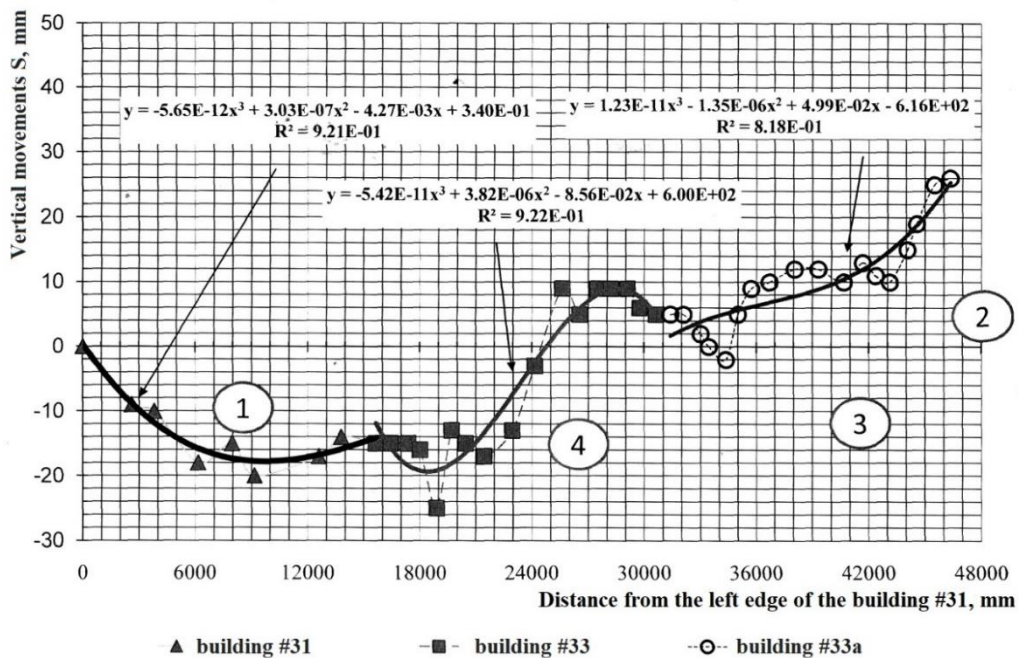


Figure 7. Distribution of vertical deformations along the length of the front walls of three buildings ##31, 33, 33a. Integral regularities of their distribution obtained by approximating the measured data by polynomial equations of the third degree

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The analysis of these directions and their actual values showed that in the process of operation and successive additions of new buildings to the existing #31, unfounded decisions were made at the time of construction from the point of view of the mutual influence of the additions and adjacent existing buildings.

According to the current regulatory document [35], buildings located in the area of long-established low-rise dense old buildings have long been subject to inspection for their technical condition.

If the plots for new construction are located in close proximity to dense old buildings, then the possibility of an adverse effect of new construction on the formed old buildings and vice versa should be determined. The construction (extension) of each successive building with breaks in time should be considered as the construction of a new object next to the existing one.

The considered buildings on the site of the old building were not specially designed for the forces that arise when they interact with the foundation.

The study of the material of the wall masonry showed a sufficiently high strength of the brick  $f_b=7,5$  MPa and a very low strength of the mortar  $f_m=0,5$  MPa, which did not provide sufficient strength of the wall masonry at the bound and unbound seams and the absence of steel tie-down horizontal elements in complex engineering and geological conditions of the construction site.

But, according to the norms [36], it is allowed to use:

- with seismicity of 6, 7 points - full-body bricks of the brand not lower than M75 and solutions of the brand not less than 50 kg/cm<sup>2</sup> based on cement to ensure adhesion of the solution to the brick.

The actual grade of the main brick of the walls M75 meets the regulatory requirements. The actual grade of solution M5 does not meet the regulatory requirements even in the presence of dynamic influences corresponding to seismicity.

It is necessary to constructively ensure the adhesion of the mortar to the brick by introducing vertical reinforcement to combine the foundation slab walls with the new monolithic slabs of the basement, 1st and 2nd floors in the vertical struts of the walls.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Geodetic research made it possible, based on the results of the obtained experimental results, which characterize the deformed state of individual buildings ##31, 33, 33a, 33b and their foundations within the compacted development, to evaluate the order in the construction sequence of the specified buildings through the analysis of their mutual influence within of the considered group of buildings without their previous theoretical calculation.

According to the characteristic geometric parameters of deformations of buildings obtained during the survey, it is possible to obtain:

- the actual nature and consequences of transferring loads from buildings to foundations;
- diagrams of the actual non-uniform development of base deformations along the length of each building;
- impact on additional deformations of the foundations, first from the skeletons of existing buildings, and then from the impact of the skeletons of adjacent buildings, successively attached or built into the existing ones;
- buildings that are attached or integrated with significant intervals of time and are gradually blocked in groups of dense buildings have a more complex relationship between stress zones and movements in the base from uneven stresses under the foundations and rigidity of the frameworks of the buildings in the formed group.

The analysis of the recorded vertical deformations of buildings of the old construction showed that for an objective approach, the obtained data of relative vertical movements should be approximated by equations of different orders.

After that, one should analyze and select from the entire set of approximation equations of vertical movements, those that have the greatest correlation dependence between experimental and theoretical data and more logically describe and characterize the deformed state of an individual building, and accordingly, a group of buildings within the old dense building.

According to the analysis of the actual spatial deformations of the group of buildings within the block of the old building on the Olena Stepanivna street, the order of their construction is indicated in figure 8, 9, 10.



Figure 8. Photos of buildings: 1 - #31, 2 - #33b, 3 - #33a; 4 - #33, according to the sequence of their construction in the old compacted building

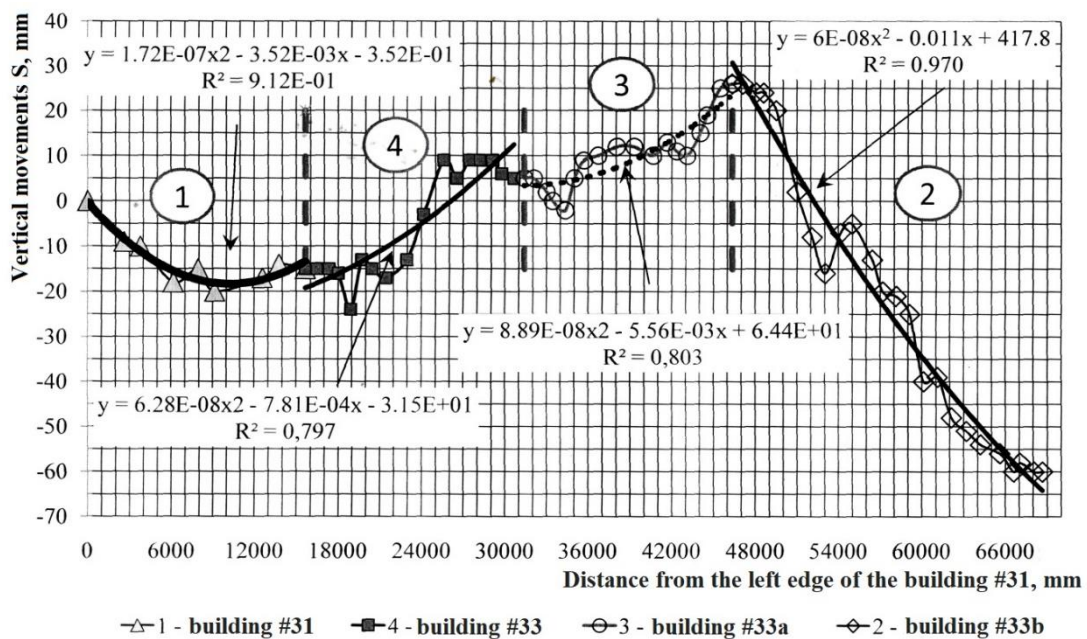


Figure 9. The nature of vertical deformations along the length of the facade walls and the construction sequence of four buildings: 1 - #31; 2 - #33b; 3 - #33a; 4 - #33. The integral distribution of deformations is obtained by approximating the experimental data with equations of the second degree



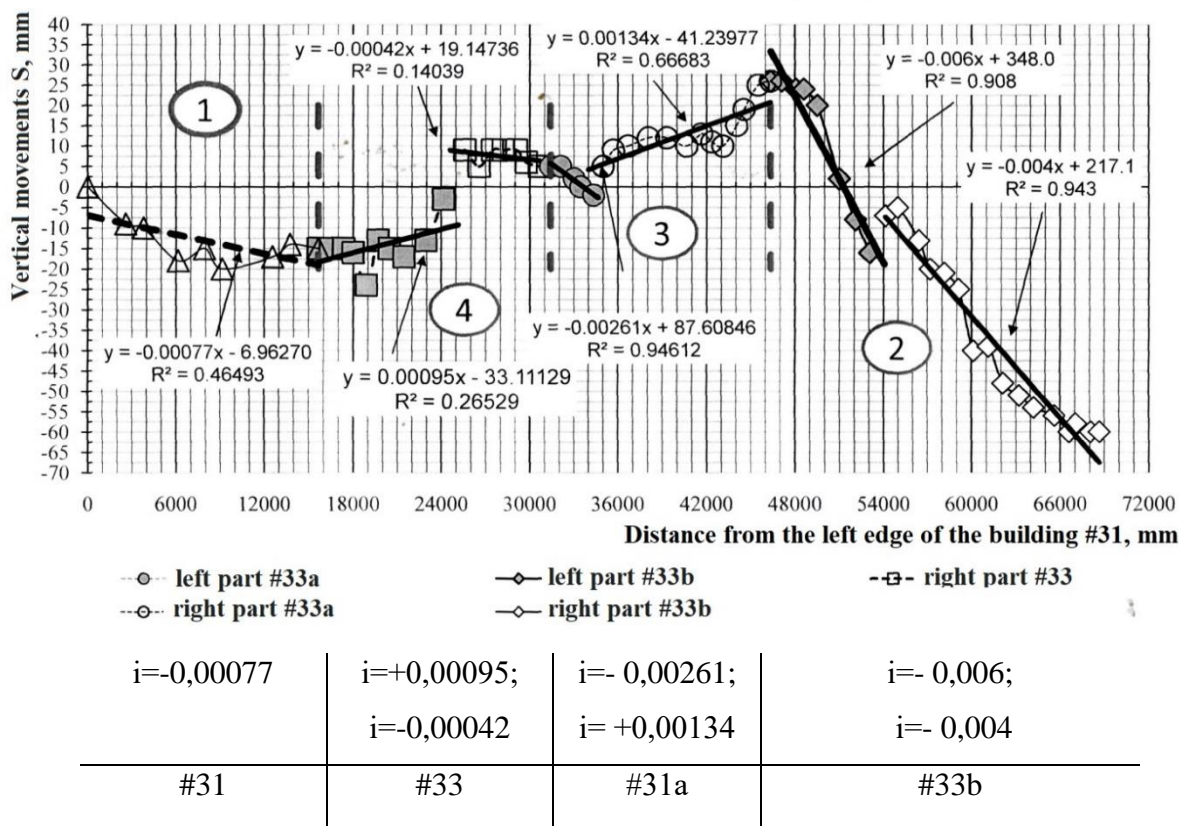


Figure 10. Approximation by linear equations of vertical deformations of characteristic areas on the walls of the main facades of four buildings ##31, 33, 33a, 33b to determine their slopes

Approximation by linear equations of vertical deformations of sections of facades of four buildings ##31, 33, 33a, 33b made it possible to determine the roll of each section, the values of which are shown in figure 9.

The increase in the spatial deformation of the frame of building #31 is mainly caused by the uncontrolled, uneven settlement of wet foundations under its foundations. This especially applies to the wall along the "5" axis. This was an unreasonable decision of the designers, from the point of view of the mutual influence of the extension on the adjacent existing building. At the same time, the sole of the foundation of building #33 is 500 mm higher than the sole of the foundation of building #31 and lies on the backfill of its foundation along the "5" axis.

First, the cracks formed in the walls within the wet rooms, and their spread to other areas of the building walls is associated with gradual long-term wetting and washing



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

of sand from the base under the soles of the foundations, first from under building # 33, then from under building #31.

The formation of cracks in the wall of building #33 should be considered as a consequence of the unsatisfactory operation of the drainage system in this building and from its yard. Rainwater easily seeps into the sandy soils of the foundation, creating problems both in the foundations of building #33 itself and in the adjacent building #31.

Increasing the strength and spatial rigidity of buildings should be achieved by strengthening structures in accordance with the results of its calculations in interaction with the foundation.

## 1.5 Modeling of weirs by using CFD

Weirs are commonly used in irrigation channels and environmental projects for flow measurement and flow control in open-channel flows. Weirs increase water storage or irrigation capacity by raising the upstream water level [37]. Usually, weirs also functioning as devices for measuring the discharge of the flow in open channels [38]. Taking into consideration the relative width of the weir crest  $H_0/L$ , weirs can be classified into the following groups:

- $0 < H_0/L \leq 0.1$  for long-crested weirs;
- $0.1 < H_0/L \leq 0.4$  for broad-crested weirs;
- $0.4 < H_0/L \leq 1.5$  for short-crested weirs; and
- $1.5 < H_0/L$  for sharp-crested weirs,

where  $H_0$  is the upstream total head, and  $L$  is the width of the weir crest in the direction of flow [38]. The broad-crested weir can be considered as the separate type of the weir. Comparing with the other types of the weirs, the broad-crested weirs are noted with many advantages, such as structural stability, very low cost and extremely low sensitivity to tailwater submergence [38]. Tracy [39], Isaacs [40], and Hager and Schwalt [38] have performed a lot of different series of the experiments in order to perform a deep study of the hydraulic characteristics of broad weirs with various geometries and designs. All their previous studies focused on determining the discharge coefficient and revealing the influence of the geometries on the flow pattern. Usually, the physical phenomena of the flow over a broad-crested weir under free-flow conditions can be described by the following equation:

$$Q = C_d b (2gH_0^3)^{1/2} \quad (1)$$

where  $Q$  – flow discharge rate,  $C_d$  – discharge coefficient,  $b$  – width of weir (in the direction perpendicular to the flow direction),  $g$  – gravitational acceleration, and  $H_0$  –

upstream total head.  $H_0 = h_0 + Q^2/[2gb^2 (h_0 + P)^2 ]$ , where  $h_0$  – upstream overflow piezometric head and  $P$  – weir height.

Numerical modeling of weirs is very difficult and important topic in the engineering work and it can be used instead of physical modeling to save cost, effort and time due to the advances in computer technology. CFD is a numerical tool that was used for simulating flow by applying COMSOL Multiphysics simulation software for solving problems in open channels or some other modelling software platforms. The assumptions of flow over weirs which used to derive and solve using numerical techniques are fully turbulent, unsteady, incompressible, and non-viscous. The differential equations used in Fluent software are continuity and RANS (Reynolds Averaged Navier–Stokes equations). These equations are based on the principles of conservation of mass and Newton’s Second Law.

Thus, the process of the numerical modelling of the weirs involves the solution of the Navier-Stokes equations, which are based on the assumptions of conservation of mass and momentum within a moving fluid. Taking into account, the absence of sources of mass and momentum, the conservation of mass is described by the differential equation:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (2)$$

where  $\rho$  – is the density and  $v$  – is the velocity of the fluid. The conservation of momentum is similarly described by the equation:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla \cdot (\rho v v) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau \quad (3)$$

Equations (2) and (3) are presented for completeness only; readers are referred to Ferziger and Peric (1997)(3) for a detailed description of their derivation and solution using numerical techniques. In order to represent the real impact of the turbulence effect on the flow, additional transport equations are solved for various turbulence quantities.

All previously performed studies were focused on experimental aspect and well organized and performed studies of this phenomena. The results of these studies

showed that the upstream angle significantly affects a broad-crested weir's hydraulic performance in terms of free-surface profile, discharge coefficient, velocity profile, and flow separation zone. Thus, despite computational fluid dynamics (CFD) becoming an extremely important method which can be used for investigations of the hydraulic problems. Also, less attention has been given to study the effect of the upstream angle on the hydraulic performance of a broad-crested weir based on numerical simulations. Sarker and Rhodes [48] conducted a numerical simulation of the flow over a broad-crested weir based on the standard  $k$ - $\epsilon$  turbulence closure model. Obtained by the computing free-surface profiles which were based on the volume-of-fluid (VOF) method that were found to agree well with the measured results. Numerous research performed experimental and numerical simulations of two-dimensional free-surface flows interacting with rectangular and triangular broad-crested weirs. In their study, the standard  $k$ - $\epsilon$  and standard  $k$ - $\omega$  turbulence models were used. The numerical computing results showed that the predicted values and parameters for the velocity field and free-surface profile from the standard  $k$ - $\omega$  turbulence model were in better alignment with values obtained during the experimental research. Haun et al. [49] performed a numerical simulation of flow over a trapezoidal broad-crested weir.

They have proved the applicability of not only two-phase (COMSOL Multiphysics), but single-phase CFD modeling (SSIIM) as well for such flow fields. Akoz et al. [50] performed a two-dimensional simulation of flow over a semi-cylindrical weir using different turbulence closure models. Comparing the experimental and CFD results showed that the numerical simulation provided reasonable forecast results in terms of the velocity field and the free-surface profile. In this study, a series of numerical simulations was conducted to study broad-crested weirs with sloped upstream faces and vertical downtown faces, considering that the downstream slope has less of an impact on a broad-crested weir under free-flow conditions [44,45]. Numerical simulations were performed using the COMSOL Multiphysics simulation software. Its two-phase solver, which is based on the volume of fluid (VOF) method, has been proven to successfully model complex flows [51–53]. The main goals of the present study were as follows: (1) to validate the InterFoam

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

solver with a free-surface profile, (2) to discuss the effects of the upstream face angle on discharge coefficient, and (3) to discuss the effects of the upstream face angle on the behavior of a broad-crested weir.

In order to perform comparisons of the experimental results and results obtained with CFD modeling was created a numerical model in the Multiphysics simulation software platform (figure 1).

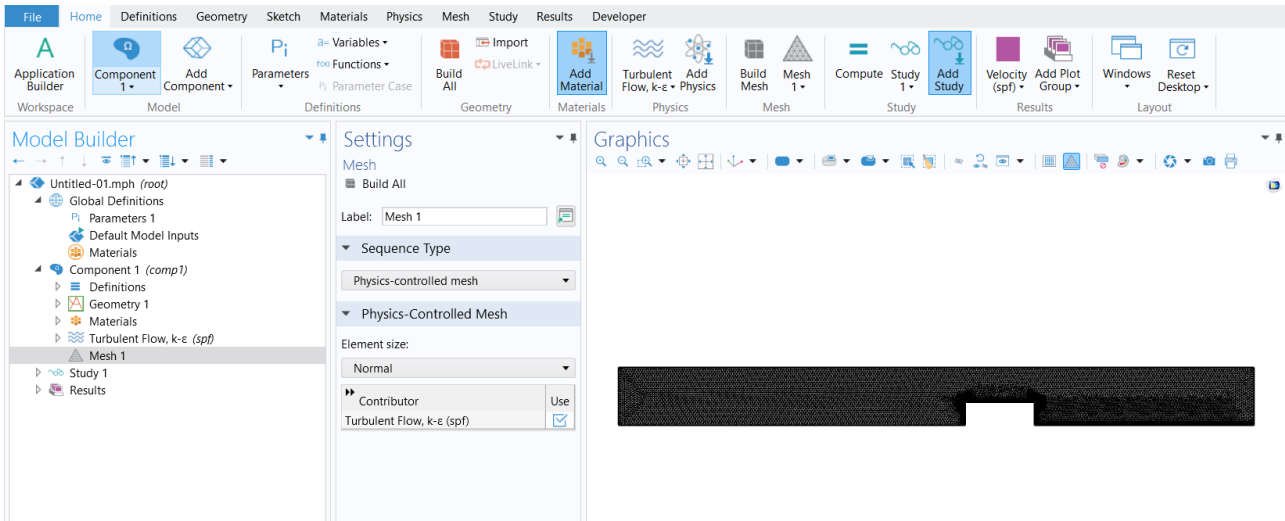


Fig. 1. Model setup with COMSOL Multiphysics simulation software.

The boundary conditions applied to the numerical model was following (figure 2.):

- Inlet:  $u=u_0$ ;  $\nabla p = 0$ .
- Outlet:  $\nabla u = 0$ ;  $\nabla p = 0$ .
- Wall:  $u=0$ ;  $\nabla p = 0$ .
- Atmosphere:  $\nabla u = 0$ ;  $p = 0$ .

In order to match the experimental conditions, the inlet boundary was applied to  $U (u=u_0;)$  which adjusted the flow depth and velocity at the inlet to obtain a constant flow rate ( $Q$ ). The outlet boundary was equalized to a zero gradient velocity condition in the model, which was achieved by Neuman BC condition ( $\nabla u = 0$ ;  $\nabla p = 0$ ).

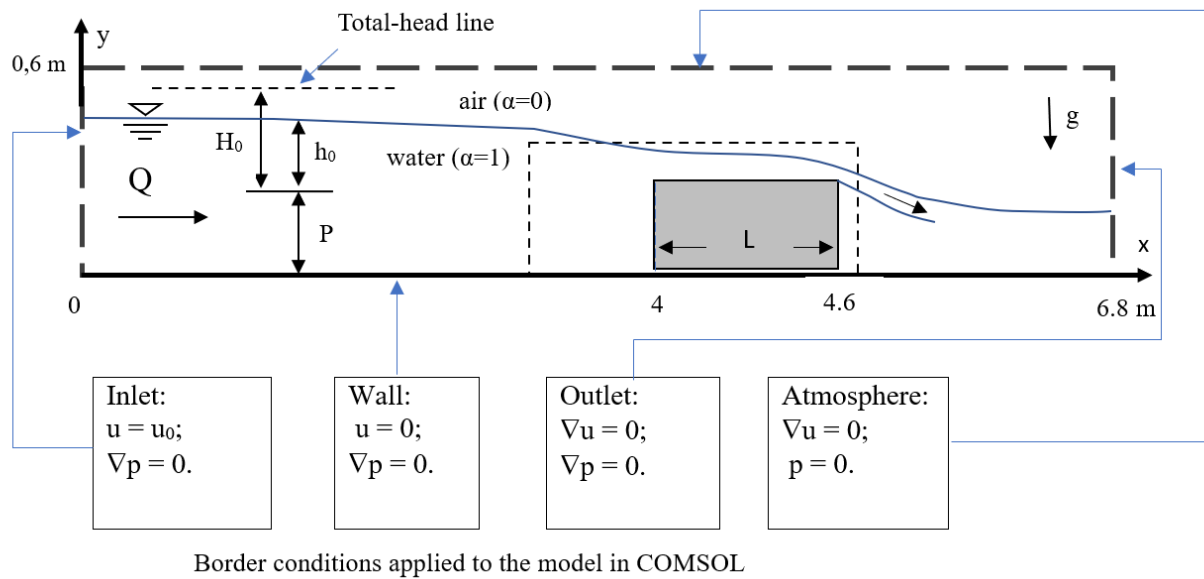


Fig. 2. Boundary conditions using COMSOL Multiphysics simulation software.

The no-slip boundary condition was applied to the surface of the channel by choosing wall condition ( $u=0$ ;  $\nabla p = 0$ ). The top surface of the model was considered as a free surface (atmosphere), so, for  $U$  was imposed to allow the flow to enter and leave the simulation domain.

The mesh of the model (figure 3,4) was generated automatically by the COMSOL Multiphysics simulation software.

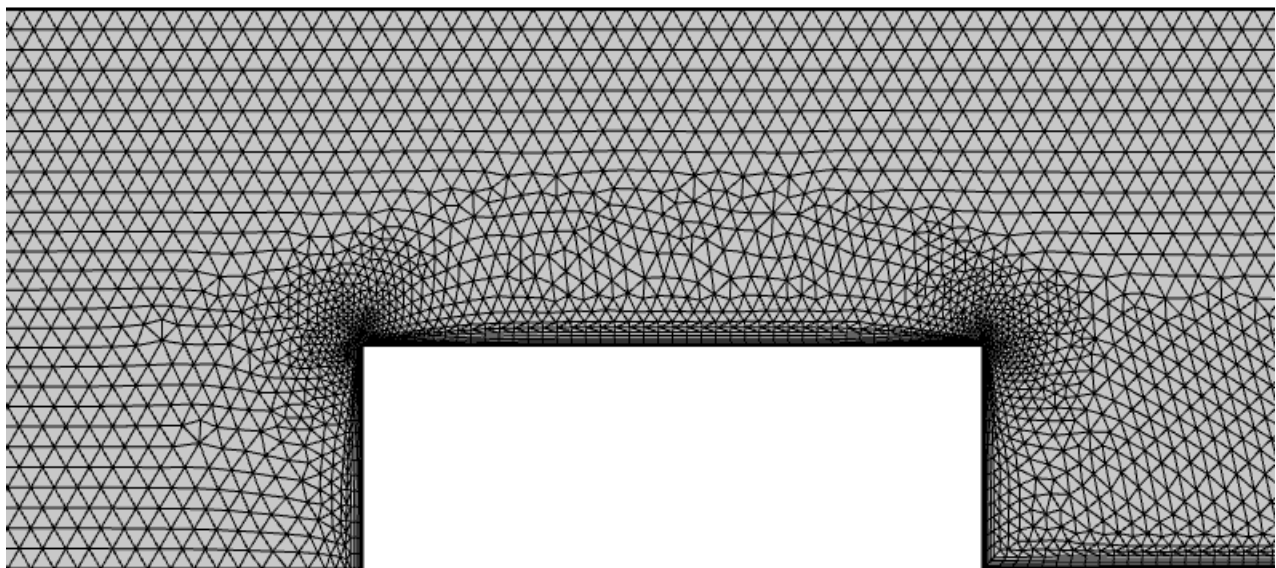


Fig. 3. Mesh generated near weir model.

The Mesh features enable the discretization of the geometry model into small units of simple shapes, referred to as mesh elements. For 1D geometries, the mesh

generator discretizes the domains (intervals) into smaller intervals (or mesh elements). The endpoints of the mesh elements are called mesh vertices. The boundaries (or vertices) defined in the geometry are represented in the mesh by boundary elements (or vertex elements).

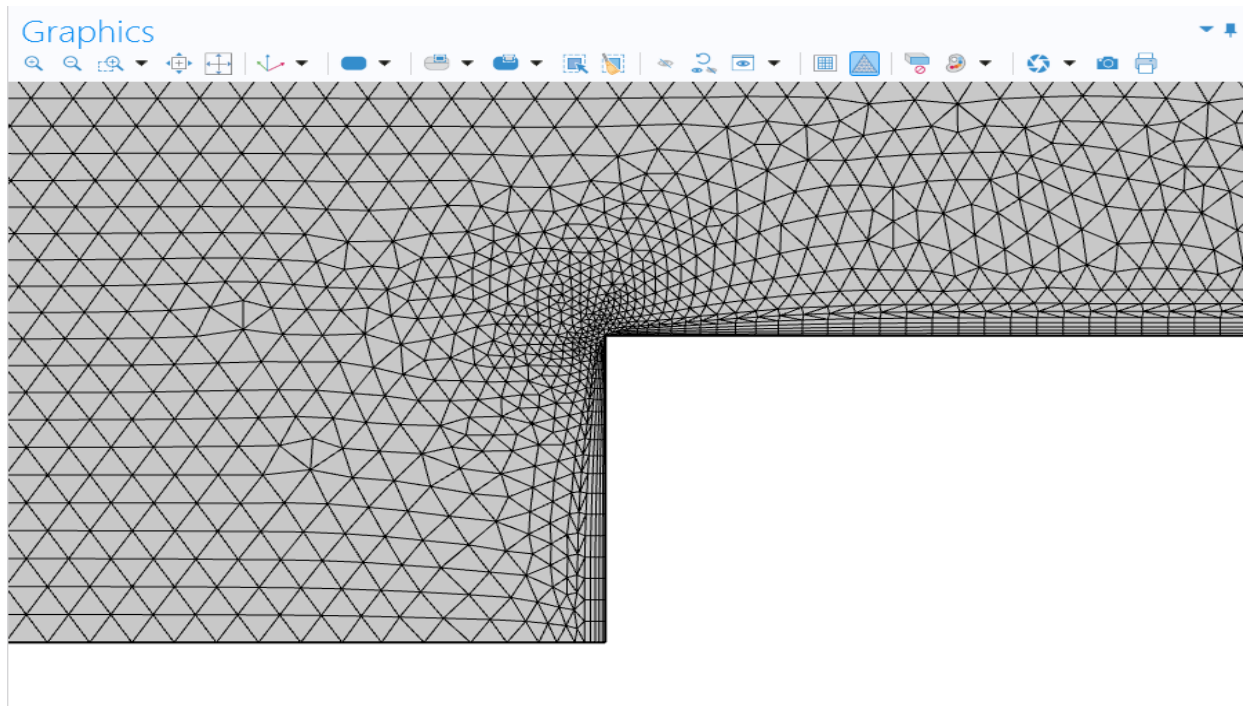


Fig. 4. Mesh generated near front area of the weir model.

For 2D geometries, the mesh generator discretizes the domains into triangular or quadrilateral mesh elements. If the boundary is curved, these elements represent only an approximation of the original geometry. The sides of the triangles and quadrilaterals are called mesh edges, and their corners are mesh vertices. A mesh edge must not contain mesh vertices in its interior. The boundaries defined in the geometry are discretized (approximately) into mesh edges, referred to as boundary elements (or edge elements), which must conform with the mesh elements of the adjacent domains.

For 3D geometries, the mesh generator discretizes the domains into tetrahedral, hexahedral, prism, or pyramid mesh elements whose faces, edges, and corners are called mesh faces, mesh edges, and mesh vertices, respectively. The boundaries in the geometry are discretized into triangular or quadrilateral boundary elements. The geometry edges are discretized into edge elements. Similar to 2D, the geometry vertices are represented by vertex elements.

In current research was used physic-controlled meshing. It is the default approach when mesh is controlled by the physics module applied to the model. The mesh is then adapted to the current physics settings in the model. For example, for a fluid-flow model you get a somewhat finer mesh than the default with a boundary layer mesh along the no-slip boundaries. If we want to modify the overall element size of the physics-induced mesh we select another element size in the settings window of the main mesh node and rebuild the mesh. In current research we built our mesh in “Extra Fine” predefined element size.

Numerical simulations in COMSOL Multiphysics simulation software were performed for short-crested weir with model where height ( $H_0$ ) = 0,3 m and  $L = 0,6$  m. Thus,  $H_0/L$  was equal to 0,5. The discharge of the flow via the weir was ( $Q$ ) – 0,02 m<sup>3</sup>/s. During the simulations was obtained numerical model of the flow with all parameters. The main aim of the research is to compare the free-surface profiles obtained during the experimental research performed by (LVIV) and profiles obtained with numerical simulations in COMSOL Multiphysics simulation software.

Thus, in this study, the discharge over the broad-crested weir was 0.02 m<sup>3</sup>/s. The comparison between the free-surface profiles obtained in numerical simulations (performed by the standard  $k$ - $\epsilon$  turbulence closure model and SST  $k$ - $\omega$  turbulence model) and experimental profiles for thought three serious is shown in figure 3. Chen et al. [53] performed similar investigations with broad-crested weirs in different configurations. According to their results the free-surface profile can be divided into two parts based on the gradient. The first part is a slowly descending part and for the second part a sharply descending is the main characterization criteria. Also, their results shows that the curvature of the former part is close to zero, whereas that of the latter part decreases quickly with a hydraulic drop [53].

The results of the research: experimental and computer simulations are represented in figure 3. The free-surface profiles obtained in this study (Fig. 3) are consistent with experimental data and fully confirm the conclusions from previous investigations.



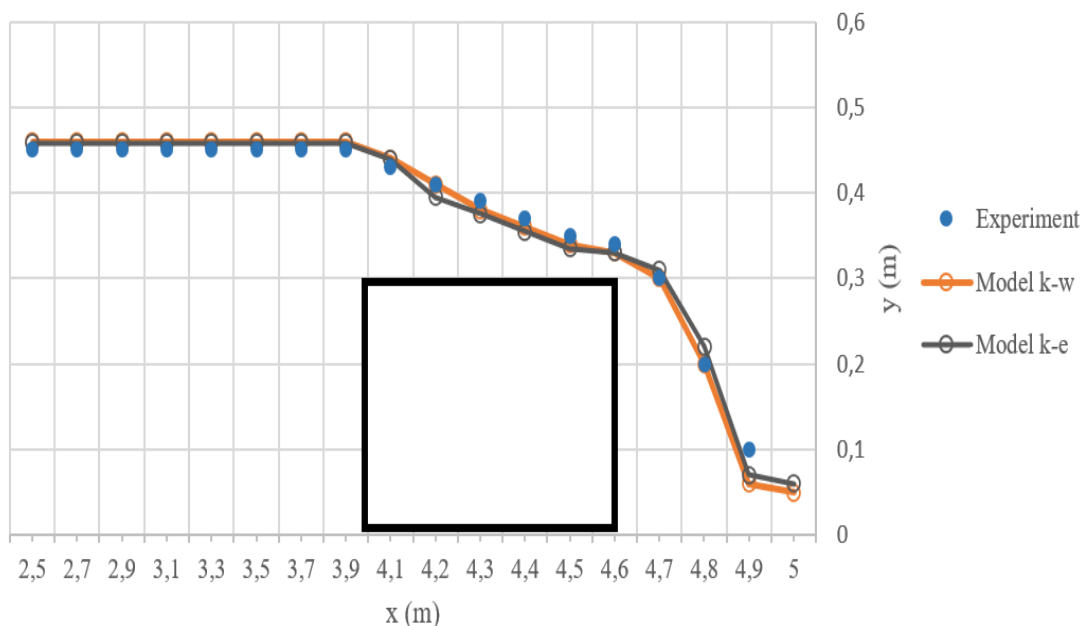


Fig. 5. Free-surface profiles obtained by experiment and computer modeling by using  $k-w$  and  $k-e$  turbulence modules from COMSOL Multiphysics simulation software with discharge ( $Q$ ) –  $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ .

In order to perform further verifications of the numerical models and data received from computers simulation, the following parameters should be analyzed: the mean absolute percent error (MAPE) and the root mean square error (RMSE). Both statistical indicators were used to evaluate the accuracy of the numerical results obtained during the simulations. Both statistical indicators (the RMSE and the MAPE) were small which strongly confirms good correlations between the numerical and experimental results.

The values received from the statistical indicators for the free-surface profiles show a perfect match. For the standard  $k-w$  model, the range of the root mean square error parameter is between 0.4% and 0.74%, and the range of the mean absolute percent error is between 0.7% and 1.8%; for the  $k-w$  turbulence model, the range of the root mean square error is between 0.32% and 0.71%, and the value of the mean absolute percent error is between 0.64% and 1.53%. Statistical analysis of the results shows that both turbulence models ( $k-e$  and  $k-w$ ) are able to perform computing simulations and describe the physical picture of the process with great alignments in terms of representing the free-surface profile over the broad-crested weir.

## **1.6 Bim-technologies in Ukraine**

BIM technologies are a new approach to digital information management in the construction industry, which allows you to virtually recreate an object even before its construction begins. It makes it possible to increase the safety and reliability of buildings and structures, control the quality and speed of construction works, significantly reduce the probability of errors in projects, reduce the cost of construction and optimize costs at the operational stage.

Modernization and digital transformation of the domestic construction industry, thanks to the implementation of BIM technologies, will make it possible to solve several systemic problems. It is about the low quality of design and construction, inefficient use of resources, the unpredictability of costs for the operation of built objects, accidents of buildings and structures, lack of investment, resource-intensiveness, and industry inefficiency.

In most countries of the world, during the design, in particular, of objects of increased responsibility and state orders, BIM technologies are mandatory. In Ukraine, they are still used by a few organizations.

First of all, the implementation of BIM technology requires state regulation, in particular, the creation of the necessary regulatory and legal framework, the development of a number of norms and standards, state support for the implementation of pilot projects, the training of specialists with appropriate qualifications, informational, organizational and methodological support.

And there are already results in this direction — changes to the Procedure for the development of design documentation for the construction of objects that allow the use of BIM technologies and to the Procedure for approving construction projects and conducting their examination have entered into force, which can be submitted in paper and electronic form or in the form electronic documents.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Currently, the Ministry of Regions is working on updating 20 standards, developing national estimate norms, and developing a comprehensive plan for revising building norms until 2025 [54].

Building information modeling, or BIM for short, is a process of optimizing design and construction. With the help of BIM technology, an information model is created, which provides an accurate vision of the project as a whole.

The technology of information modeling of buildings consists of the construction of a three-dimensional virtual model of the building in digital form, which contains complete information about the future object. The application of BIM technology in the design of buildings includes the collection and complex processing of technological, architectural, and design, economic information about the building, thanks to which the building object and everything related to it are considered as a single entity [55].

In modern society, there are very rapid changes associated with the rapid development of information technologies. Most countries have already joined the process of transition to BIM technologies. These are Great Britain, the USA, the Netherlands, Singapore, Kazakhstan, Belarus, and other countries. Ukraine has also started work on the introduction of BIM technologies. And we have to develop this direction. This will not only contribute to the implementation of new modern projects in the country and bring the Ukrainian construction industry to a higher level of design but will also increase the quality of control of construction works. This, in turn, will positively affect Ukraine's position in the Doing Business rating for the component "Obtaining construction permits".

Among the advantages of implementing BIM technologies, Partskhaladze named instant access to any information about the object, quality control of works at all stages, avoidance of collisions in projects, a significant reduction in the cost of construction, as well as a more rational use of resources.

The main advantage of implementing BIM technologies in construction is the ability to achieve almost complete compliance of the characteristics of the future object with the customer's requirements, which is very important.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

In general, BIM technologies involve the virtual construction of an object before its actual erection. This allows you to reduce uncertainty, increase safety, solve problems, and model and analyze the potential effects of various factors at all stages of construction.

The modern development of information technologies was marked by the emergence of a fundamentally new approach in architectural and construction design, which consists in creating a computer model of a new building that includes all information about the future object - the Building Information Model (BIM). The concept of building information modeling as a means of its parameterization was first proposed by Georgia Institute of Technology professor Chuck Eastman in 1975 in the journal of the American Institute of Architects (AIA) under the working title "Building Description System" [56].

In the late 1970s and early 1980s, this concept developed in parallel in Europe and the USA, and in the USA the term "Building Product Model" was most often used, and in Europe (especially in Finland) - "Product Information Model". At the same time, the word Product emphasized the primary focus of researchers' attention on the object of design, and not on the process. The combination of these two names led to the birth of the "Building Information Model".

In parallel, in the development of approaches to information modeling of buildings, Europeans in the mid-1980s used the German term "Bauinformatik" and the Dutch "Gebouwmodel", which in translation also corresponded to the English "Building Model" or "Building Information Model". These conceptual approaches were accompanied by the development of a unified content of the used concepts, which ultimately led to the appearance in the scientific literature of the term "Building Information Model" in its current meaning in 1992 [57].

A little earlier, in 1986, the Englishman Robert Aish (Robert Aish), at that time the creator of the RUCAPS program, then for a long period of time an employee of "Bentley Systems", who recently moved to "Autodesk", used the term "Building Modeling" for the first time in his article in its current understanding as information modeling of buildings. Then he first formulated the main principles of such an informal

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

approach in design: three-dimensional modeling; automatic receipt of drawings; intelligent parameterization of objects; corresponding object databases; distribution of the design process by temporary stages, etc...

Robert Aish illustrated a new approach in design: an example of the successful application of the building simulation complex in the RUCAPS PC is the project of the reconstruction of "Terminal 3" of the London airport "Heathrow". This experience is the first case of using BIM technology in global design and construction practice [57].

The term BIM (Building Information Modeling) first appeared in 1992 in the work of G.A. van Nederveen and F.P. Tolman from the Netherlands. Since about 2002, the concept of the Building Information Model has been adopted by software developers, making this concept one of the key concepts in their terminology. Soon BIM was adopted by Bentley Systems, Autodesk and Graphisoft, etc. Later, the acronym BIM entered the lexicon of specialists in automated design systems and became widely used throughout the world [56].

BIM can be used both to refer directly to the building information model itself and to the process of information modeling. For example, Graphisoft, the author of the widely distributed ArchiCAD package, introduced the term VB (Virtual Building) - a virtual building, which is essentially BIM. Sometimes you can find a phrase similar in meaning to electronic construction (e-construction) [59, 60].

***Principles of implementation of BIM technologies and implementation of the concept.***

The implementation of BIM has a long-term nature, but technological, economic, and political conditions can make certain adjustments to the process, effective implementation of the concept is possible by observing the basic principles according to which it was developed.

Harmonization with the European approach. Based on the positive and negative experiences of other countries, the most effective option is to use the best implementation practices instead of finding your own unique path. These principles are based on the association agreement with the EU [54]:

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- The principle of preventing the creation of legal and technical barriers for the benefit of any interested party in the implementation of BIM for development, software, expertise, etc.
- The principle of Open BIM is the use of open formats (including IFC) and the ability for construction companies to freely choose any software without restrictions.
- The principle of anti-corruption and transparency in the formation of mechanisms necessary for the implementation of the concept.
- The principle of harmonization of international and European standards, rather than developing one's own.

### **1. Careful approach**

Implementation should be gradual and use only the necessary resources at each stage:

- The principle of subsidiarity, solving issues at the appropriate level of state power, which has sufficient powers for this.
- The principle of gradualness, namely the establishment of the Concept of specific steps necessary for the introduction of BIM technologies in Ukraine, where further development is regulated by future relevant strategies.
- The principle of proportionality, according to which actions for the implementation of VIM should not exceed the level of necessity.

### **2. Interaction and cooperation**

Successful implementation is possible only with the coordination and cooperation of all stakeholders:

- The principle of cross-sectoral consolidation of efforts between the state, business, and the public for effective implementation of the Concept.
- Consensus principle – studying and taking into account the positions of all interested parties in the implementation of BIM technologies.

- The principle of equality is when the state creates conditions for the market.
- The principle of stimulating and encouraging the use of BIM technologies in Ukraine by the state.

### 3. *Evidence-based implementation*

Decisions based on data are more objective and reliable, and less dependent on the perception of specific individuals:

- The principle of implementation taking into account existing strengths, i.e. borrowing the successful experience of Ukrainian business and technologies.
- The principle of making necessary decisions based on data (statistics, expert discussions, and international experience).

Criteria for evaluating the success of concept implementation should correspond to the best international approaches.

For a synergistic effect, it is necessary to take into account the interaction of construction and related areas, as well as all the main stages of the life cycle of the construction object:

- The principle of taking into account the goals of sustainable development to use the positive impact of BIM technologies not only in construction but also in related areas for the development of the state in general, namely: ecology, energy, education, safe production, preservation of cultural heritage, etc.
- The principle of creating conditions and mechanisms for the transition to life cycle management.

The analysis of world experience showed that for the implementation and development of BIM technologies, communities were usually created, which served as a tool for the promotion and implementation of BIM technologies [61, 62]. As was mentioned in the prerequisites, there is no expert environment with BIM at the state level in Ukraine, but it is available in the business. Therefore, the logical strategy of

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

creating a joint platform for the promotion of BIM consists of the interaction of representatives of all interested parties with equal voting rights: the state, business, and the public.

According to this model, process participants will be involved in the development of decisions in a balanced way, which will have a more positive effect on their implementation than the forced administrative implementation of orders from the mountain. Considering the large volume of work, their versatility, and the long time required for the implementation of the Concept, it is necessary to create a separate organization that will coordinate the efforts of the process participants, based on their practical experience, but without excessive bureaucracy [63, 64].

For the effective implementation of the Concept, the creation of the UA BIM Task Group community is envisaged for the period necessary for the sufficient integration of BIM in the construction industry (approximately 10-15 years) [55]. Involvement of representatives of all interested parties in the organization is necessary for the formation of a common vision for the implementation of BIM technologies, consolidation of efforts, understanding of the entire range of problems related to implementation, distribution of functions and responsibilities among interested parties for solving these problems, creation of a powerful expert platform, regular intersectoral dialogue (state-business-society), transparency of the implementation process, joint development of the following strategic documents, conducting activities to popularize the use of BIM technologies in Ukraine, promoting the creation of educational programs and courses for training BIM technologies, attracting financial resources for the implementation of BIM technologies, regular research of the state of implementation of BIM technologies and related processes [65].

The organization should consist of three components:

***membership*** – representatives of all interested parties who have a proportionally equal number of votes and make decisions. The composition includes representatives of legal entities.

***expert*** – experienced specialists who provide their assessment before making decisions in a certain direction. It includes both legal entities and individuals.



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

*secretariat* – coordinating body of the organization to solve current and administrative tasks.

The strategic goal of the created organization is to, together with all participants, formulate their own vision for further work and draw up a plan for the implementation of the developed concept.

In Ukraine, there is an example of a similar formation, which includes representatives of various sectors - CoST (consultative and supervisory group, CoST, Construction Sector Transparency Initiative). If such a group is created under a certain ministry, there is a risk of reducing the activity of other participants in the process. At the same time, joining the state structure creates certain frameworks for actions within the Budget Code, even if additional funding sources are involved. This will lead to a decrease in the efficiency of the group's work and additional costs for reporting and duplication. In addition, not all donors are ready to finance organizations under state institutions, which significantly limits the range of potential partners [66].

It should be noted that different departments play a leading role at different stages of implementation, so the creation of the UA BIM Task Group will provide an opportunity to comprehensively approach this issue.

The international experience of implementation is also marked by the creation of similar organizations that are engaged in the development of VIM technologies in the state, uniting representatives of interested parties. For example, in Great Britain during the implementation phase from 2011 to 2016 it was the UK BIM Task Group, and then from 2017 CDBG & UK BIM Alliance, and in Germany Planen-Bauen 4.0. GmbH etc. The activities of the UA BIM Task Group can be divided into separate directions [54].

Implementation of BIM requires a large number of resources, including funding. For the effective implementation of BIM implementation, the process is divided into four main phases:

- **Phase I** – introduction of BIM technologies in Ukraine. Starts with BIM level 0 and goes to BIM level 1 at the end of the phase. The possibility of using BIM technologies at private and state-ordered facilities. Training of customers, designers,

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

and experts in the use of BIM. During this phase, pilot projects are implemented with a limited number of projects, expert organizations, and state customers.

- **Phase II** – development of BIM technologies in Ukraine to BIM level 2. Establishing requirements for the mandatory use of BIM for individual objects of state order according to the relevant criteria. Training of builders in the implementation of objects using BIM technologies. The experience of phase I is being disseminated to a wider range of state customers, experts, and project organizations. Pilot projects involving construction organizations are being implemented.

- **Phase III** – development of BIM technologies in Ukraine to BIM level 3. Expansion of criteria for mandatory use of BIM technologies at state-ordered facilities. Learning to operate objects using BIM technologies. At the beginning of phase III, we expect a sufficient number of BIM projects that have passed the examination, as well as a wider involvement of construction organizations. In this phase, pilot projects with operational organizations are launched.

- **Phase IV** – mandatory use of BIM at state-ordered facilities and consideration of the need to establish criteria for private ordering. BIM projects cover the stages of the life cycle of buildings, including operation.

### **1.7 Modeling of runoff hydrographs from the impervious subcatchments by using CFD**

The problem of urban areas flooding, due to increasing the volume of surface runoff, in Ukraine is exacerbated by growing urbanization trends, climate change and the problematic technical condition of sewerage networks. The analysis indicates that the urgency of this problem will increase in the coming decades. This encourages the scientific and engineering community to develop runoff management strategies and plans, as well as to widely introduce surface runoff control systems into Ukrainian engineering practice, which must be scientifically proved and adapted to local climatic, urban, and economic conditions.

The problem of flooding urbanized areas in Ukraine due to the increase in volumes and costs of surface runoff is exacerbated by growing urbanization trends, climate changes, and the problematic technical condition of drainage networks. The analysis indicates that the urgency of this problem will grow over the following decades. This prompts the scientific and engineering community to develop stormwater management strategies and plans and to widely implement surface runoff regulation systems into Ukrainian engineering practice, which should be scientifically based and adapted to local climatic, urban planning, and economic conditions.

The reliability and durability of rainwater drainage systems, and the ability to effectively process their peak loads for cities and small towns, as well as industrial enterprises, is an important component of ensuring the normal functioning of the sewage system as a whole and significantly affects the ecological state of the environment. Peak loads on the drainage network during heavy rains pose a threat to the normal functioning of both the network itself and treatment facilities: the danger of overflowing the network and flooding the facility territory increases, the probability of a deterioration in the quality of surface runoff treatment or its mixture with household and household runoff increases sharply industrial wastewater. For the adequate design of rainwater drainage networks and structures, scientifically based modeling of

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

rainwater inflow hydrographs is of great importance, in which geographic, topographic, and other features of the object should be considered as fully as possible.

To date, there is no single, universally recognized method for modeling rainwater runoff hydrographs from urban basins in the world. Most of the known mathematical models of rainfall-runoff modeling use significant simplifications due to the limited use of the capabilities of modern information systems or are based on the data of specific empirical studies that have a narrow range of applications. Thus, the improvement and addition of physically based models for the construction of rainwater wastewater hydrographs, which would describe the topographical, climatic, and physical features of the drainage basin as correctly as possible, is especially relevant, considering the modern trends of urbanization and climatic changes.

Modeling the behavior of surface runoff from urbanized areas is a complex multifactorial problem facing specialists and scientists worldwide. With each subsequent decade, the number of urbanized areas increases, which affects the volumes of rainwater runoff, and increases the load on city sewage networks, sewage treatment plants, and accordingly, open water bodies. To ensure the reliable operation of sewage networks, it is necessary to consider different modes of their operation (including peak loads), as well as factors such as changing climatic conditions and the rapid growth of areas of urbanized neighborhoods. To solve these problems, several approaches were developed to study the processes of surface runoff formation. In general, there are dozens of models for calculating rainfall runoff hydrographs that have been developed by scientific institutions, government departments, and international organizations. During the development of these models, various approaches were used, and many parameters were considered to ensure the reliability of the obtained results.

The works of Akan O. [67], Guo D. [69], Ibrahim Y.A. [73] are devoted to the problems of hydrological and hydraulic modeling of rain runoff in natural channels and engineering networks and structures Bennis S. and others [68]. General issues of regulation of rainwater runoff from urban areas were considered by Zoppou C. [76], Dziopak Y., Huber V., Shuler T. and others [72]. Methods of hydraulic calculation and

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

modes of operation of storage facilities for regulating rain runoff are analyzed in the works of D. Guo [70], Y. Dziopak [71], V. M. Zhuk [75], and others.

The analysis of scientific works and modern engineering and technical practices shows that today there is no single generally accepted approach to the formation of rain runoff and the correct modeling of this process. The existing models are based on significant simplifications, often do not consider the hydraulic essence of the processes that take place during the formation of rain runoff, are purely empirical in nature, and have a limited range of applications. Attempts to consider additional factors significantly complicate mathematical models and require significant computing resources, which cannot always be implemented in practice. The block of issues related to the development of methods and technologies for efficient and economical regulation of rainwater runoff from urban sewage basins is insufficiently worked out.

Thus, the development and application of new, improved methods of modeling rainwater runoff hydrographs from urbanized areas, which would consider the topographical, climatic, and physical features of runoff basins as fully as possible, as well as allow for effectively regulate the operation of rainwater drainage systems, are urgent tasks in the field of construction and civil engineering.

Among the modern methods of modeling rain runoff, deterministic and stochastic ones can be distinguished. Deterministic models seek to perfectly simulate physical processes using cause-and-effect relationships. Stochastic models use statistical patterns of a specific phenomenon to model this phenomenon. However, in practice, there is no clear and absolute difference between deterministic and stochastic models. Deterministic models have varying degrees of uncertainty or randomness built into their general formulations and parameters, while stochastic models do not completely ignore cause-and-effect relationships. To distinguish between the two modeling approaches, it has been proposed that a deterministic model always produces the same response to the same input, while a stochastic model always produces a different response to the same input, albeit with consistent statistical properties. Both deterministic and stochastic models often use empirical models as part of their mathematical algorithm to describe the relationships between variables that are

considered relevant to modeling the process. Thus, empirical models do not strictly represent a separate class of modeling alongside deterministic and stochastic models but are rather a subcategory of both deterministic and stochastic models. Each of the deterministic and stochastic models has serious limitations. Deterministic models do not consider the uncertainty of variables. Complex deterministic models may contain multiple optimal sets of parameters, in which case no set of parameters can be identified as a set of unique solutions. The heterogeneity of parameters was observed in both models. Stochastic models are synthesized only from available data without detailed knowledge of the hidden processes and may be insufficient for prediction when data are sparse or imprecise.

Unlike deterministic models, stochastic models cannot be extended to analyze alternative scenarios (for example, the impact of increased urbanization on the increasing number of pollutants contained in stormwater), because a stochastic model can only be used for specific conditions and data on which based model. However, stochastic models are advantageous in that the uncertainty of the variable is built into the model.

In his works, Nix [74] singles out three main strategies used to model rain runoff:

- simple models.
- simple models with routing (models that use basic routing models).
- complex models with a developed rainwater routing model (models in which a complex mathematical routing logic is embedded).

Each category has different requirements for data and computing resources and provides results at different time scales and spatial dimensions. In simple models (models where routing is not used), little data is required, and the calculations are not repeated cyclically, so these calculations can be performed without the use of computers. These models provide very little detail about the flow behavior of stormwater runoff. In general, these models are used to calculate long-term, average, or peak values of characteristic parameters. They are specialized for a specific case. Empirical models can be considered simple models. Although some statistical models are based on complex techniques, they reflect only the current behavior of the sub-

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

basin runoff in a certain area. Some empirical models predict very simple dependencies that do not require the use of computer simulations. Both simple and complex models are based on physical laws that describe the flow of rainwater on the surface of the drainage basin. Although these are deterministic models in their physical essence, they describe the behavior of subbasin runoff under various possible configurations. The complexity of the model affects the volume of necessary computing resources and limits the calculation capabilities of the model and the reliability of the results obtained from it.

The results of simple models can also be obtained using more complex models, but the reverse process cannot be implemented. Simple stormwater flow models do not simulate some important processes. For example, a linear tank routing technique common in the past is a simple generalized model. Time-dependent processes cannot be modeled because all processes are assumed to occur instantaneously. To overcome this problem, models include time, such as flow delay in the routing process. This introduces another subjective factor that can be specified by the user, and this approach is independent of the behavior of the simulated process. Combined models are typically used in planning models where the time steps significantly exceed the interval of transients that occur in the system, so they use average values for different processes. At the same time, the temporal and spatial variability of the system, which is necessary to check the integrity of the rainwater system, is ignored. They must be artificially added to the modeling process. Therefore, it is necessary to establish an empirical relationship between peak and average flows in the rainwater drainage system. This creates additional subjectivity and uncertainty in the modeling process. These problems can be overcome by using more complex models, at the same time, the latter is more costly in terms of resource use and requires complex calculations using computer equipment.

All previously performed studies were focused on experimental aspect and well organized and performed studies of this phenomena. Thus, despite computational fluid dynamics (CFD) becoming an extremely important method which can be used for investigations of the hydraulic problems.

Numerical simulations were performed using the COMSOL Multiphysics simulation software. Its two-phase solver, which is based on the volume of fluid (VOF) method, has been proven to successfully model complex flows.

To perform comparisons of the experimental results and results obtained with CFD modeling was created a numerical model in the Multiphysics simulation software platform (figure 1.).

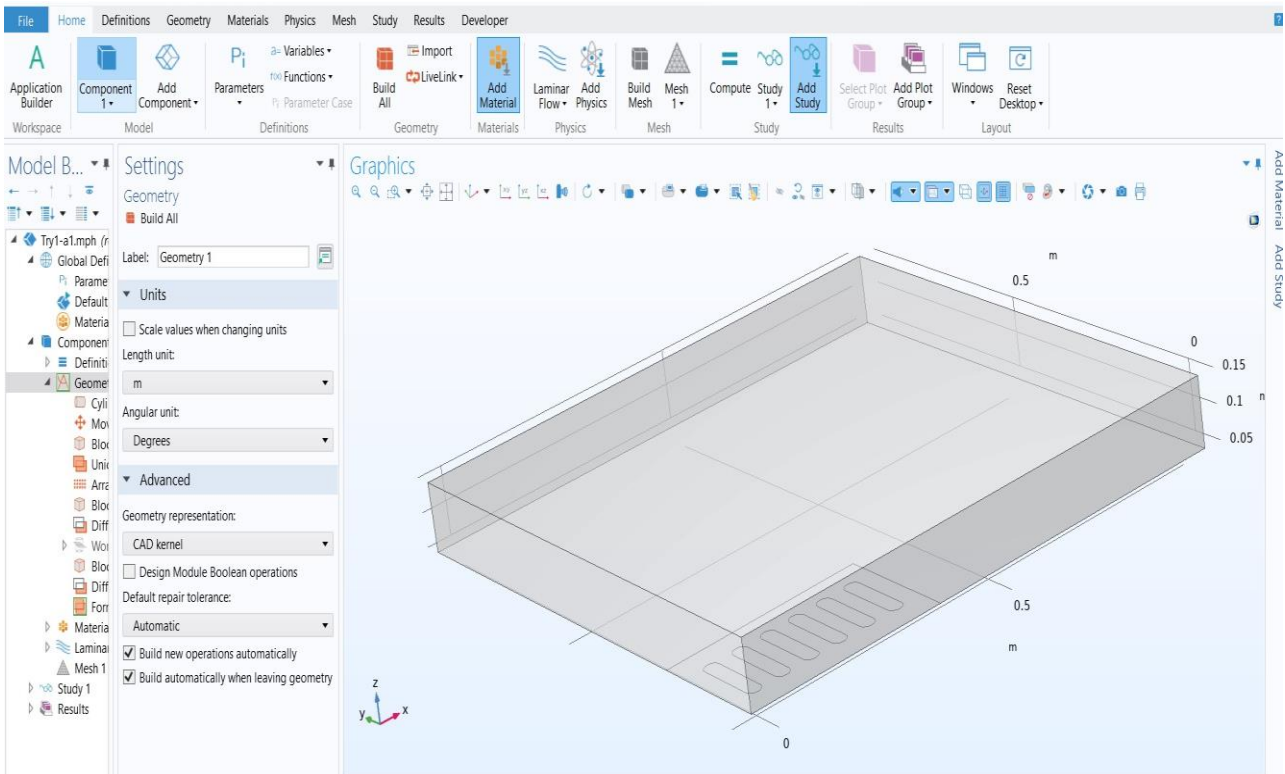


Fig. 1. Model setup with COMSOL Multiphysics simulation software.

The boundary conditions applied to the numerical model was following (figure 2.): inlet ( $u = u_0; \nabla p = 0.$ ); outlet ( $\nabla u = 0; \nabla p = 0.$ ); wall ( $u = 0; \nabla p = 0.$ ); atmosphere ( $\nabla u = 0; p = 0.$ ).

In order to match the experimental conditions, the inlet boundary was applied to  $U (u=u_0;)$  which adjusted the flow depth and velocity at the inlet to obtain a constant flow rate ( $Q$ ). The outlet boundary was equalized to a zero gradient velocity condition in the model, which was achieved by Neuman BC condition ( $\nabla u = 0; \nabla p = 0$ ). The no-slip boundary condition was applied to the surface of the subcatchment by choosing wall condition ( $u=0; \nabla p = 0$ ). The top surface of the model was considered as a free



# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

surface (atmosphere), so, for  $U$  was imposed to allow the flow to enter and leave the simulation domain.

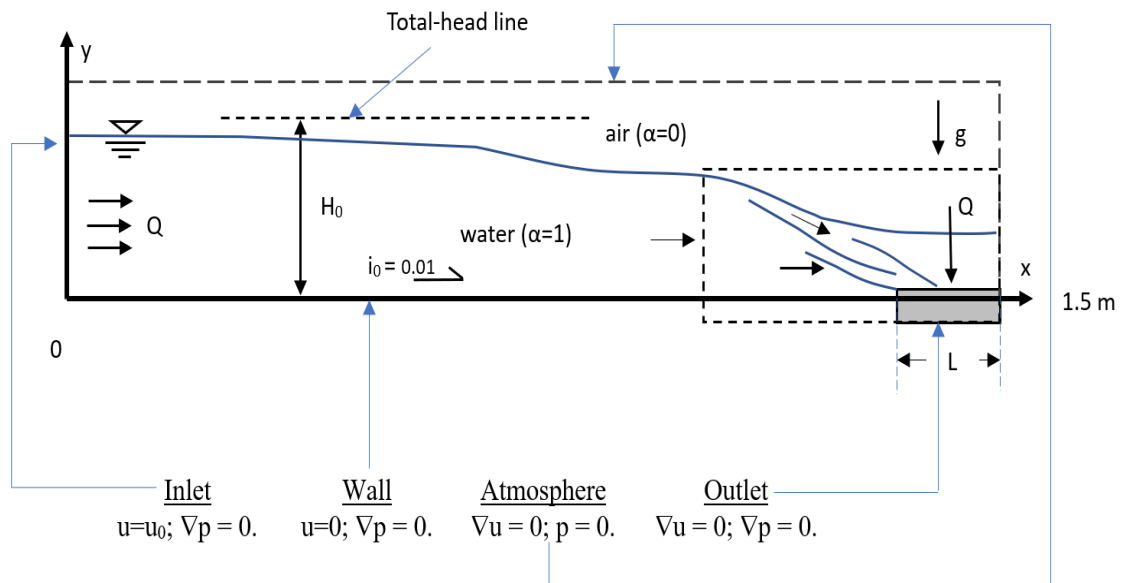


Fig. 2. Boundary conditions using COMSOL Multiphysics simulation software.

The mesh of the model (figure 3, 4) was generated automatically by the COMSOL Multiphysics simulation software. The Mesh features enable the discretization of the geometry model into small units of simple shapes, referred to as mesh elements. For 3D geometries, the mesh generator discretizes the domains (intervals) into smaller intervals (or mesh elements).

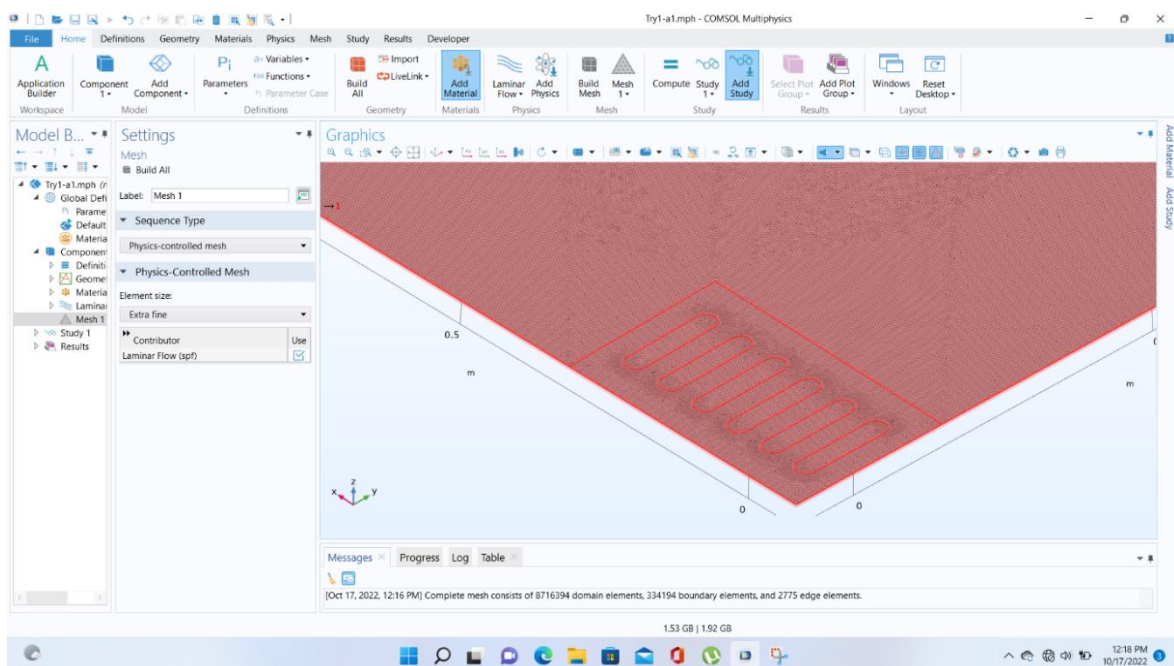


Fig. 3. Mesh generated near grate inlet model.

The endpoints of the mesh elements are called mesh vertices. The boundaries (or vertices) defined in the geometry are represented in the mesh by boundary elements (or vertex elements).

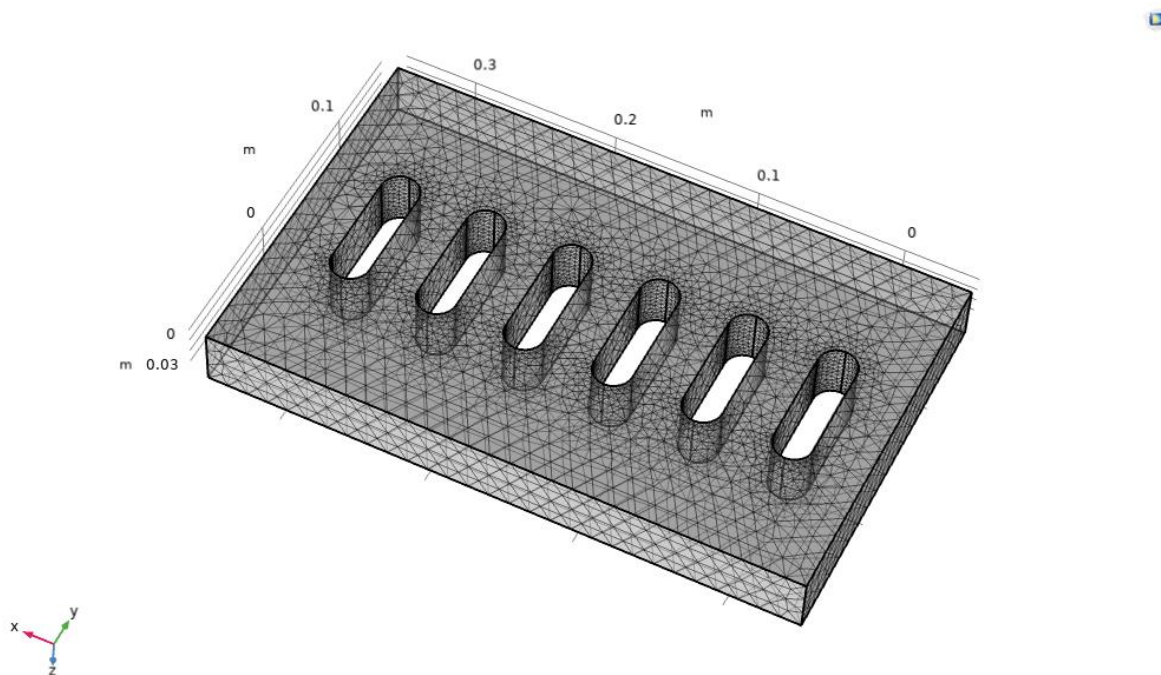


Fig. 4. Mesh generated for great inlet type DM-1 model.

For 3D geometries, the mesh generator discretizes the domains into tetrahedral, hexahedral, prism, or pyramid mesh elements whose faces, edges, and corners are called mesh faces, mesh edges, and mesh vertices, respectively. The boundaries in the geometry are discretized into triangular or quadrilateral boundary elements. The geometry edges are discretized into edge elements.

In current research was used physic-controlled meshing. It is the default approach when mesh is controlled by the physics module applied to the model. The mesh is then adapted to the current physics settings in the model.

In this work, an important scientific and practical task was solved, namely - development of new and improvement of existing methods of runoff modeling in the built-up territories with reflecting regulatory influence of separate elements of drainage constructions.

The results of the work are important for ensuring the comprehensive reliability of settlement's drainage systems in Ukraine in the conditions of constant growing tendencies of urbanization processes and considering global climate changes. The

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

determining factor for the development and implementation of adequate practical plans for surface runoff management is its scientifically substantiated modeling, which is carried out according to the climate characteristics and parameters of the runoff basin, considering the ranges of their projected change over time.

Modeling the behavior of surface runoff from urban areas is a complex multifactorial problem. It is substantiated that reliable results of complex stormwater drainage networks modeling with the addition of control structure's role can be obtained only with the use of multifactor numerical models implemented in the appropriate computer programs.

The analysis shows that the most widely used tool in the world today for computer simulation of stormwater drainage systems in urban areas is the software package COMSOL. However, COMSOL uses several simplified approaches to model the hydrological and hydraulic parameters of stormwater drainage systems. To model the primary runoff hydrographs from individual runoff subcatchment, an approximate nonlinear reservoir method is used, in which a subcatchment of arbitrary shape is conventionally considered as a rectangle with equal area (which have a length equal to the surface flow concentration radius), and the slope of the basin is assumed to be the same at all points.

Numerical simulations in COMSOL Multiphysics simulation software were performed for the subcatchment model ( $L/B = 1$ ;  $F = 2.25 \text{ m}^2$ ;  $i_x = i_y = 0.01$ ;  $\omega_m = 25 \text{ cm}^2$ , which corresponds to the area of the natural small grate inlet type DM-1). The discharge of the flow via the subcatchment was  $q_{d,m} = 1660 \text{ l/(s}\times\text{ha)}$ ;  $t_d = 60 \text{ s}$ . During the simulations was obtained numerical model of the flow with all parameters. The main aim of the research is to compare the runoff hydrographs from the model subcatchment (for  $q_{d,m} = 1660 \text{ l/(s}\times\text{ha)}$  and  $t_r = 60 \text{ s}$ ) obtained by: non-linear reservoir method; sector method; 3D sector method; from the experiment; by computer modeling by using  $k-w$  turbulence modules from COMSOL Multiphysics simulation software.

The results of the research: experimental and computer simulations are represented in figure 5.

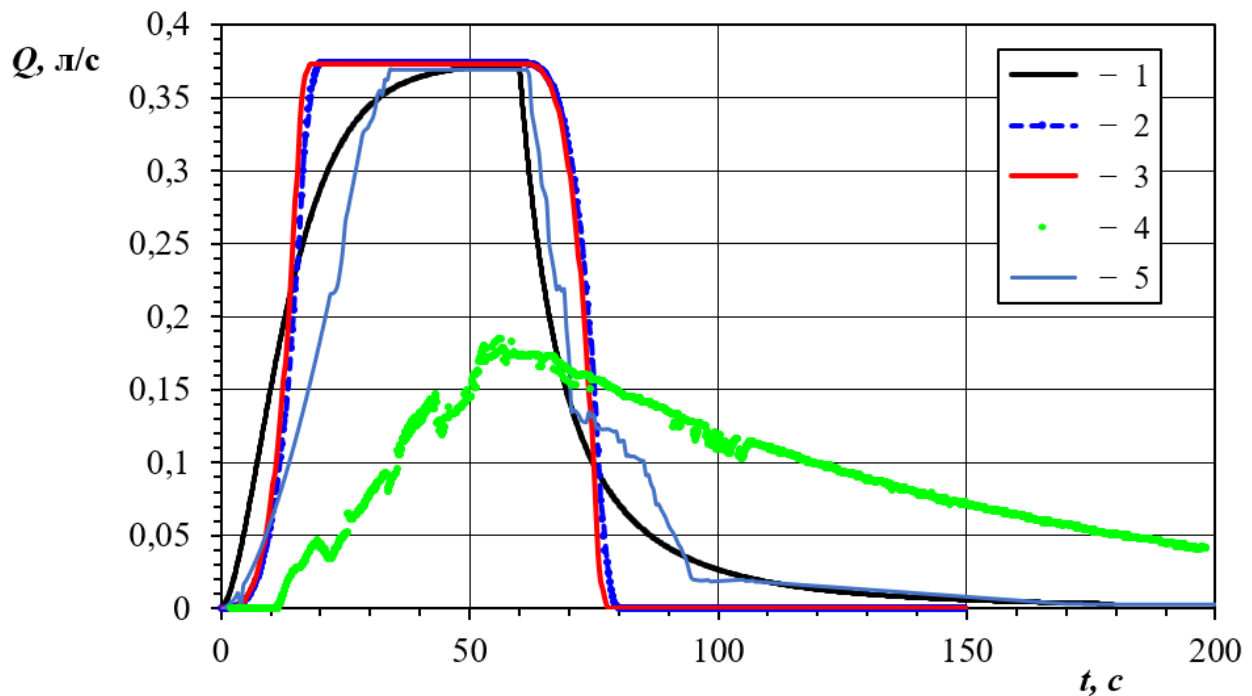


Fig. 5 Runoff hydrographs from the model subcatchment runoff ( $L/B = 1$ ;  $F = 2.25 \text{ m}^2$ ;  $i_x = i_y = 0.01$ ;  $\omega_m = 25 \text{ cm}^2$ , which corresponds to the area of the natural small grate inlet type DM-1 at  $C_L = 20$  for  $q_{d,m} = 1660 \text{ l/(s}\times\text{ha)}$   $t_d = 60 \text{ s}$  obtained by: 1 – non-linear reservoir method; 2 – sector method; 3 – 3D sector method; 4 – as a result of the experiment; 5 – by computer modeling by using  $k-w$  turbulence modules from COMSOL Multiphysics simulation software.

An experimental installation was designed and developed, on which was performed a set of experiments which allow experimentally model stormwater hydrographs from typical square in terms of subcatchments runoff in the range of values of the geometric scale  $C_L = 10 - 30$ , which corresponds to full-scale subcatchments with sizes from  $15 \times 15 \text{ m}$  to  $45 \times 45 \text{ m}$ . The design of the experimental installation allows to model the runoff hydrographs from flat subcatchments for various high schemes configurations with values of longitudinal and transverse slopes from 0.005 to 0.02. The methods of experimental research and processing of experimental data substantiated in work provide a relative error of definition of the peak discharge less than 0,48 %.

An improved three-dimensional sector method has been substantiated and developed, which allows to consider the actual configuration and height scheme of

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

urbanized subcatchment runoff by automatically determining slopes for each sector based on data processing on three geodetic coordinates of all characteristic points of the subcatchment. The advantage of the three-dimensional sector method over the simple sector method is to consider the variable slope of the surface to the stormwater for subcatchments with a flat surface.

Considering in the 3D sector method the variable slope of an urban subcatchment surface, depending on the location of the sector, causes significant changes in runoff hydrographs: reduction of surface concentration time by 13.7 % and increase in peak discharge by 11.3 % compared to the traditional sector method. Compared to the nonlinear reservoir method, the 3D sector method gives a peak discharge higher by 43.8 %.

A mathematical model of regulatory influence on stormwater hydrograph of capacitive elements of stormwater drainage systems – from conventional sewage wells to special control stormwater storage tanks (SWST) has been developed. An appropriate numerical algorithm and computer application have been developed to solve the direct and inverse problems of hydraulic modeling: to determine the required volume of capacitive elements at given limit parameters of stormwater runoff hydrographs in given cross sections or to determine runoff hydrograph parameters at given characteristics upper regulatory structures.

### **1.8 Technical inspections of buildings and structures that ensure the life of people**

For human life, it is extremely important to constantly and uninterruptedly provide various kinds of communications, namely water, electricity, gas, heating, sewerage, etc. In settlements, engineering complexes have been created from buildings and structures for various purposes. For the constant and uninterrupted operation of engineering systems, these buildings and structures must be in a satisfactory condition. Accordingly, periodic technical inspections of such buildings and structures are important.

Any structure is subjected to permanent and temporary loads, which gradually reduce its quality characteristics. Therefore, the main purpose of the survey is to assess the safety of buildings and structures for people.

Conducting scheduled and unscheduled inspections of the building is required by law. The first time the study must be carried out 2 years after the commissioning of the building. Subsequently, the building is examined at intervals of every 5-10 years. An unscheduled inspection of the object is carried out after man-made and natural accidents, after the detection of damage to the structures.

Inspection of buildings and structures is carried out in order to obtain objective data on the actual state of building structures, taking into account changes over time. During operation, under the influence of aggressive factors of the external environment, the features of technological processes, the properties of materials and structures change, the risk of violating their quality and causing damage to the environment increases. Untimely identified and eliminated defects in building elements often develop into serious violations. Their consequences, in addition to social and environmental damage, can lead to significant material costs associated with the restoration of the operational properties of structures. Therefore, it is important to correctly and timely assess the condition of structures and equipment of buildings, make a forecast about the possibility of developing defects and develop measures to stabilize or eliminate them. To ensure safe operating conditions for buildings and

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

structures, maintaining the technical condition of buildings and structures at the proper level, including by extending the standard operating life, restoration and reconstruction, is of paramount importance. The general purpose of surveying the technical condition of building structures is to identify the degree of physical wear and tear, the reasons for their condition, the actual performance of structures and the development of measures to ensure their performance.

Inspection of the technical condition of buildings and structures consists of the following stages:

- analysis and study of design estimates and technical documentation for the facility;
- preparation of the survey program, equipment and technical means necessary for the survey;
- visual inspection of buildings and structures, and their individual elements;
- instrumental inspection of buildings and structures, and their individual elements;
- identification, photographic fixation and analysis of defects and violations identified during the examination;
- office work;
- verification calculations;
- development of estimate documentation for the elimination of defects and damage, overhaul, reconstruction, etc.;
- development of a graphic part based on the results of the survey;
- development of recommendations for further safe - operation of the structure;
- development of a project for reinforcement, overhaul, reconstruction, etc.
- drawing up a technical Conclusion.

The result of the technical survey is a technical report. The first and main part of the results is the conclusion. It should contain the main parameters identified during the study and the category of technical condition.

The category can be one of four:

- normative technical condition;

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- satisfactory technical condition;
- technical condition unsuitable for normal operation;
- emergency technical condition.

The first two categories allow you to operate the building without restrictions and additional work. The assignment of the third obliges the owner to take measures to eliminate the identified problems. In the fourth category, the operation of the building is prohibited. Also, if significant defects are identified that can lead to the collapse of the building, the appraiser is obliged to immediately report such a fact to the owner and to the executive authorities and construction supervision.

An example of a survey of an existing boiler house building is described in the article.

Typical boiler room. The purpose of the boiler house is to generate thermal energy. (Figures 1-6). The existing building in axes 2-8, A-B is a one-story brick frame production unit with a mezzanine (in axes 2-3, A-B) with dimensions in plan in axes 1-8, A-E 18.640 x34.570 m, roof beams 5.740 m high, 5.640 m, mezzanine at elevation +3.530; in axes 1-8, A-B - a one-storey part, in axes 1-3/1, G-E - a two-storey administrative part (overlapping at elevation +3.530).

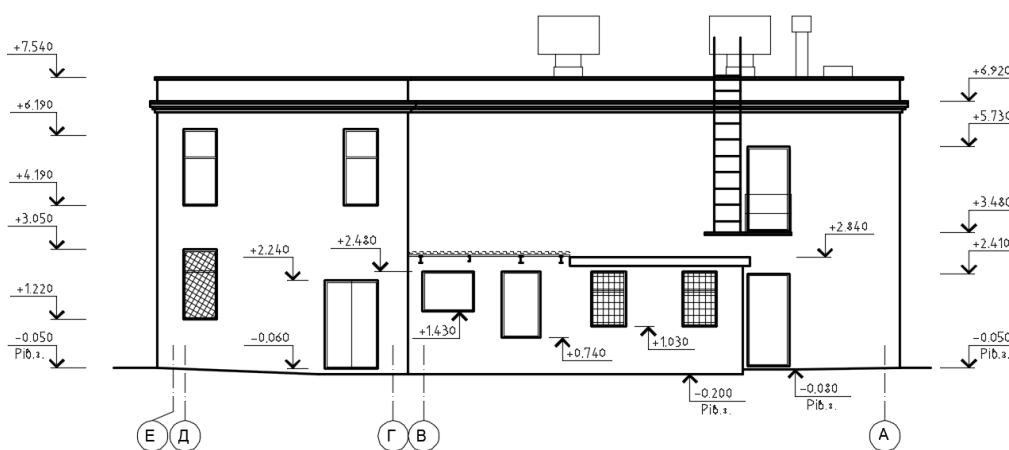


Figure 1. The facade of the building in axes E-A







## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- roof slabs - prefabricated reinforced concrete ribbed slabs 1.5 m, 3.0 m wide, prefabricated reinforced concrete round-hollow slabs, prefabricated reinforced concrete flat slabs;

- roof beams - prefabricated reinforced concrete gable cross section L=12.0 m, prefabricated reinforced concrete gable lattice L=12.0 m; metal (channel No. 12U, I-beams No. 16);

- mezzanine floor slabs - prefabricated reinforced concrete ribbed slabs 1.20 m wide, 1.0 m wide;

- mezzanine floor beams - prefabricated reinforced concrete 0.30x0.70 (h) m;

- internal stairs - metal (corners 50x5, 60x5, 100x7, channels No. 10U, pipe. Ø200 mm, corrugated steel  $\delta=4$  mm);

- fire escape - metal;

- outdoor area - metal (corners 63x5, corrugated steel  $\delta=4$  mm);

- walls - brick with a thickness of 250 mm, 380 mm;

- partitions - brick;

- floor - ceramic tiles, concrete tiles, corrugated metal sheets;

- parapet slabs - prefabricated reinforced concrete;

- lintels - prefabricated reinforced concrete; metal;

- windows - wooden, metal bars, metal shutters;

- louvre grille - metal;

- door - wooden; metal;

- deflectors - metal;

- roof (in axes 2-8, A-B):

- two layers of roofing material on bituminous mastic;

- leveling layer (cement screed);

- insulation (expanded clay);

- vapor barrier (1 layer of roofing material);

- roof (in axes 1-2, A / 1-B / 1):

- one layer of roofing material;

- roof (in axes 1-2, B / 1-C):

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- asbestos-cement wavy leaves;
  - boardwalk;
  - interior finish - lime whitewash; panel - oil painting, ceramic tiles;
  - finishing of the ceiling - lime whitewash;
  - external finishing - is absent;
  - window sills - absent;
  - parapet aprons - galvanized steel;
  - drainage system - absent;
  - blind area - concrete; partially absent;
- two-story part (in axes 1-3/1, G-E):
- foundations - not surveyed;
  - coating slabs - prefabricated reinforced concrete round-hollow slabs;
  - floor slabs - prefabricated reinforced concrete round-hollow slabs;
  - walls - brick 380 mm thick;
  - partitions - brick;
  - lintels - prefabricated reinforced concrete;
  - floor - ceramic tiles;
  - windows - wooden, metal bars;
  - door - wooden; metal;
  - roofing: two layers of roofing material on bituminous mastic; leveling layer (cement screed); insulation (expanded clay); vapor barrier (1 layer of roofing material);
- interior finish - lime whitewash; panel - oil painting, ceramic tiles;
  - finishing of the ceiling - lime whitewash;
  - external finishing - is absent;
  - window sills - absent;
  - parapet aprons - galvanized steel;
  - drainage system - absent;
  - ventilation caps - brick;
  - blind area - absent;

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Certain defects in the building:

- corrosion of metal elements of technological channels in the floor;
- corrosion of metal deflectors on the roof;
- corrosion of metal shutters, window bars;
- corrosion of metal shutters;
- corrosion of metal roof beams;
- corrosion of the outer metal platform;
- corrosion of metal parapet aprons, in some places the absence of parapet aprons;
- paint peeling, corrosion of the metal door and metal door frame;
- vertical crack in the wall along the expansion joint;
- wall lock, wall damage by fungus;
- locking of the coating slabs, damage to the protective layer of concrete with exposure of the reinforcement, corrosion of the reinforcement;
- horizontal cracks in the longitudinal ribs of floor slabs;
- detachment of the protective layer of concrete along the corner of the column;
- in some places, the absence of parapet slabs;
- there is no painting of window frames, cracking of wood, increased water absorption of window frames;
- there are no external window sills;
- there is no exterior wall decoration, wall locking in the cornice part, brickwork seams are not filled,
- there is no external decoration of the walls, the lock of the walls in the basement part with a fungus attack, the seams of the brickwork are not filled, the weathering of the brick;
- leaking roof. Damage to the integrity of the roofing felt carpet, loose connection of the roofing felt carpet to the parapet walls;
- locking of the coating slabs in the places where the deflectors pass, damage to the ceiling finish;
- lack of earnings of seams between plates of a covering;

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- damage to the blind area, in some places there is no blind area;
- damage to the flooring, potholes, cracking, falling off of ceramic tiles;
- detachment of oil paint of wall panels;
- cracking of concrete foundations for equipment;
- leakage of the roof, damage to the integrity of the ruberoid carpet;
- roof leakage, damage to asbestos-cement corrugated sheets;
- there is no drainage system.

Conclusion. As a result of the survey, it was found that the main building structures are in a satisfactory condition. For further safe operation of the building, it is necessary to eliminate all structural defects found during the survey. The technical report contains recommendations for troubleshooting.

### **1.9 Preservation and restoration of building structures of churches in Ukraine, which are religious, historical, cultural and architectural heritage**

On the territory of Ukraine there are a large number of buildings of temples that have great religious, cultural and architectural values. Considering that most of them were built hundreds of years ago, an urgent issue is to examine the state of the existing structures of these structures. If, on the basis of the survey, damage to building structures that affect the bearing capacity of the structure is revealed, it is necessary to develop high-quality solutions to preserve the architectural monument and extend its service life.

In the article, on the example of two existing buildings of the Ukrainian Greek Catholic Church, a survey of building structures is considered and a solution is given to preserve and strengthen the building structures of these buildings.

Survey and fortification of the bell tower in the village. Hlibovychi, Lviv region, Ukraine.

The purpose of the work: to carry out a visual inspection of the bell tower and develop a project for the replacement of foundations.

Today the building is in use.

To achieve this goal, the following tasks were performed:

- 1) a site visit has been made;
- 2) a project was developed for the installation of foundations under the supporting structures of the bell tower.

The existing building was built approximately in the 18th century (figure 1).

The bell tower is paved with cobblestones (figure 2)

Structural scheme - wooden frame (figure 3).

The rigidity of the structure in both directions is provided by a wooden frame made of columns, joints and braces (figure 3).

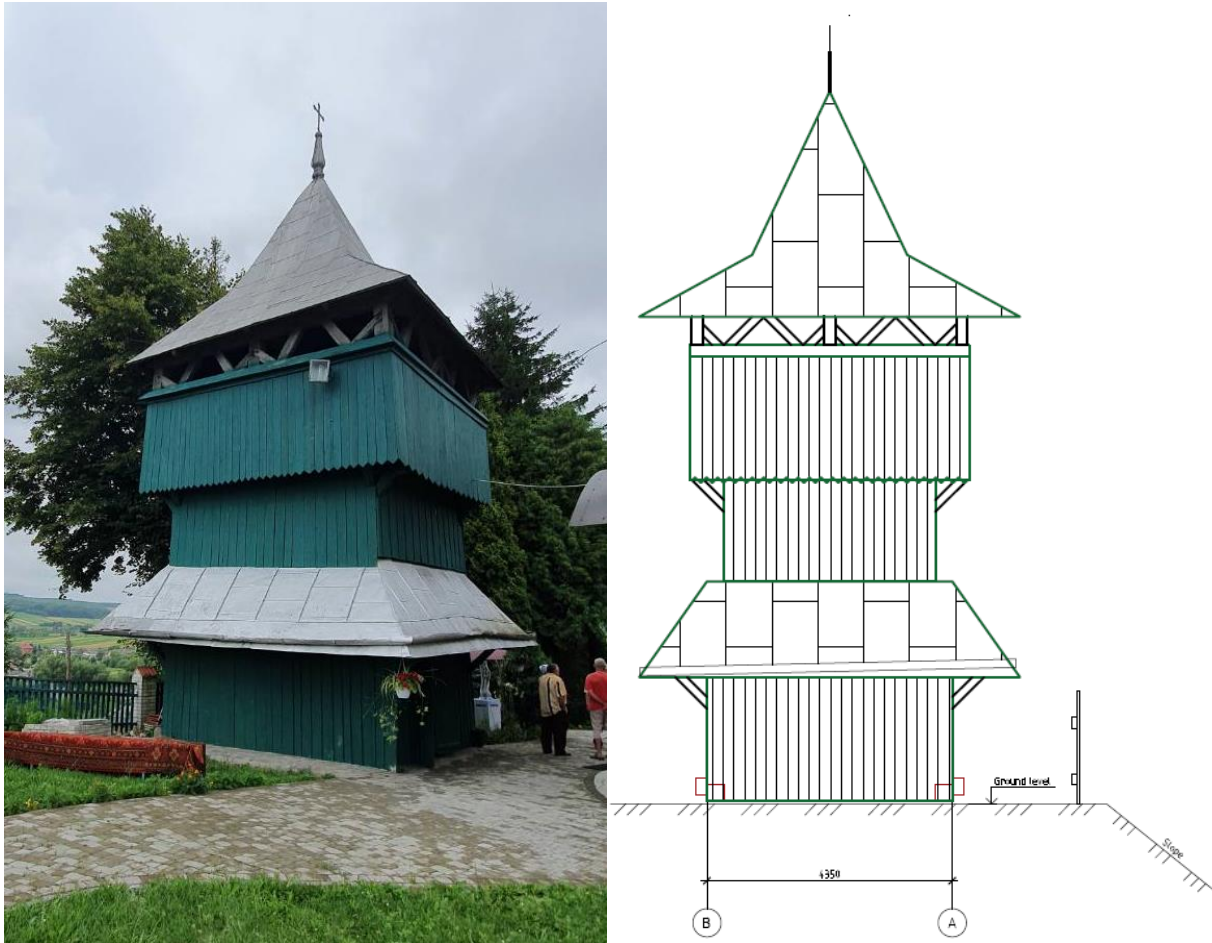


Figure 1. General view of the inspected building.



Figure 2. View of support beds and beams



# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Figure 3. General view of structures from the inside

Subsidence of the foundations under the supporting wooden beds along axis A was detected, as a result of which the wall tilted along axis 1 (photo 4).



Figure 4. View of the inclined side wall



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The following sequence of work is proposed:

- under a monolithic foundation, perform concrete preparation from concrete of class C8 / 10;

- the foundation device should be carried out in sections according to the scheme.

The device of adjacent sections must be carried out no earlier than 7 days after completion of work on the adjacent section;

- when arranging foundation grips, lay 2 layers of roofing material under horizontal beds and beams with an overlap on adjacent sections of at least 200 mm;

- 7 days after the installation of all the foundations, it is necessary to install the tower in a vertical position by wedging the supporting wooden planks along the length of the foundations with oak or steel wedges. If necessary, use jacks to raise the supporting wooden beams;

- after wedging and bringing the tower to a vertical position, it is necessary to grout under the wooden beams and beams with a cement mortar of at least M200 along the entire perimeter at their contact with the foundations.

Inspection of the Church of the Intercession of the Holy Virgin in the village of Svirzh, Lviv region, Ukraine.

The purpose of the work: to conduct a visual examination and recommendations for keeping the foundations and walls of the temple from moisture.

To achieve this goal, the following tasks were performed:

- 1) the building as a whole was examined;
- 2) defects and damage to the building are recorded;
- 3) the actual condition of the building is determined;

Surveyed public building, built in 1546-1561 (Figure 7).

The structural scheme is a frameless structure with load-bearing longitudinal and transverse walls.

The rigidity of the building in both directions is provided by external and internal load-bearing brick walls.

Today the building is in operation.



Figure 7. Head facade.

During the inspection of the object, photographic fixation of defects in structural elements was carried out, as well as means of checking the geometric dimensions and condition of the elements of the house.

As a result of the inspection of the building, the following was found:

- foundations for brick walls - solid strip of rubble masonry;
- external walls - brick;
- internal walls - brick;
- floor - wooden;
- roofing - roofing sheet steel on wooden supporting structures;
- drainage - external organized;
- blind area - concrete.

In general, the following was recorded for the building in the internal and external volume:

- excessive humidity in the premises of the 1st floor;
- lack of waterproofing of the floor of the 1st floor on the ground;



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- lack of foundation waterproofing;
- lack of a drainage system;
- damage to the external drainage system;
- damage to the facade equipment, falling plaster;
- damage to cornices on the facade of the building;
- damage to roof elements;
- damage to the paving around the perimeter of the building.



Figure 8. Damage to the facade and blind area.

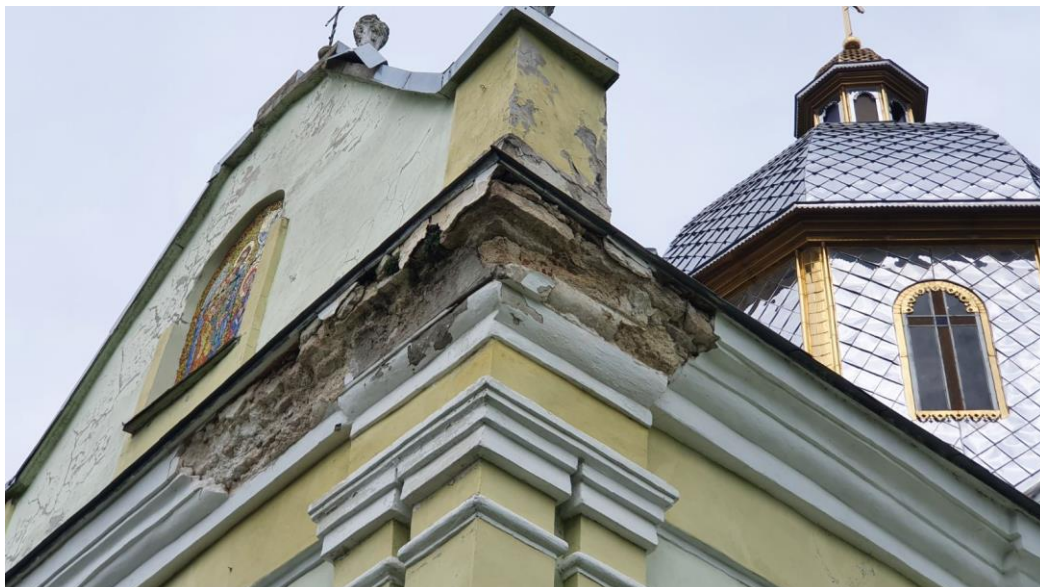


Figure 9. Damage to the cornices on the facade of the building, finishing of the facade and roof elements.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Based on the results of the survey, the following conclusions can be drawn:

1. The surveyed structure is in a generally satisfactory (2) condition.

2. For the possibility of further safe operation of the building, it is necessary:

- along the perimeter of the church building, make a system of drainage channels for organized drainage of surface and melt water from the building towards the lower horizon (see Appendix B), install drainage channels at a minimum distance of 2 m from the church building;

- perform an organized drainage of rainwater from rain pipes-gutter from the building to the drainage canals (see Appendix B);

- perform drainage along the perimeter of the building at a depth of at least 1.2 m (see Appendix D);

- perform vertical waterproofing of foundations along the perimeter of the building (see Appendix D);

- make the floor in the premises of the 1st floor, taking into account modern requirements with a waterproofing device (see Appendix D);

- perform local repairs of the roof with a possible change in the slopes of the horizontal roof gutters from the places of perpendicular joints of the outer walls;

- to repair the existing system of external drainage of rainwater (downpipes-chute);

- carry out repair work on the restoration of the exterior finish of the facade using modern facade plasters and paints;

- repair the blind area with organized drainage of water from it through the tray into the drainage channels to prevent rainwater from entering under the base of the foundations and on the walls of the basement;

- clean up landslides and debris in basements

**Conclusion.** Restoration and strengthening of building structures is of great importance for the preservation of existing buildings for religious and cultural purposes. Each such building is unique. Accordingly, refurbishment and enhancement solutions must be tailored to maintain their value to society and extend their lifespan.

### **1.10 Екологічні фактори впливу світлових засобів на людину у внутрішніх та зовнішніх просторах**

В аспекті психофізіологічного рівня сприйняття розглянуто поняття «видиме середовище», яке умовно можна поділити на природне та штучне. Психофізіологічний аспект – це процес сприйняття архітектури як реальності, що фізично існує, із притаманними їй властивостями – масою, об’ємом, розмірами, розташуванням в просторі, фактурою, світлом та кольором. На психофізіологічному рівні можливо досліджувати вимоги до місць, де людина на рівні підсвідомості відчуває себе комфортно [107]. У теорії архітектури даний рівень розробляється в таких розділах як «відеоєкологія» (В. Філін), архітектурна колористика (А.В. Єфімов, В.Й. Кравець, Н.Є. Трегуб).

Зокрема в дослідженнях С.Г. Чечельницького [107] приведені рекомендації відеоєкологів зі створення комфортного візуального середовища, яке відповідає фізіологічним нормам зору, а саме: - не допускати появи агресивних візуальних полів у міському середовищі, відноситися до таких полів як до серйозного екологічного фактору; - не допускати появи гомогенних візуальних полів у міському середовищі, а також там, де людині приходится знаходитися довгий час; - не допускати появи великих площин в архітектурі, тому що при погляді на такі площини проявляються дефекти зору; - око «не любить» прямі лінії й прямі кути. Чим більше в оточуючому просторі кривих ліній, тим ближче воно до природного середовища і, як наслідок, тим краще візуальне середовище.

Фоменко О.О. визначає, що візуально-екологічний комфорт психофізіологічного рівня сприйняття архітектурного середовища повинен торкатися всіх складових цього рівня. Це оцінка морфологічних властивостей архітектурного середовища – виразність силуету, кольорово-світлова гама, просторова орієнтація, характер деталей, об’ємів та просторів [108].

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Комфортне візуальне середовище створює приємні умови для прояву фізіологічних механізмів зору. Звідтіля стає абсолютно очевидним висновок про те, що грамотно організоване штучне середовище, тобто архітектурне середовище, повинно наближатися до природного. А. Глазичев та В. Гутнов відзначали, що композиція міста проявляється, перш за все, через силует – кордон між «тілом» міста і небом [109].

Силует будинку, виходячи з експериментів відео екологів, можна розглядати як одну із основних складових частин у формуванні комфортного візуального середовища. Силует будинку повинен бути складним й різноманітним. Прямі лінії великої довжини є несприятливими факторами у формуванні візуального середовища. Це пояснюється з фізіологічної точки зору: на прямій лінії відсутні точки фіксації після «саккади». Відсутність «опори» зразу ж веде до відчуття дискомфорту. Записи руху очей, що проводилися психологами-експериментаторами, показали, що око рухається по контуру об'єкту, і майже відсутній рух по полю фігури.

Для вирішення поставлених задач даного дослідження було проведено моніторинг стану світлового середовища в наступних архітектурних об'єктах м. Харкова: 1) будівлі громадського призначення; 2) житлові висотні будинки баштового типу; 3) культові споруди; 4) малі архітектурні форми на упорядкованих ландшафтних міських територіях.

В ході експерименту кожен із спостережуваних об'єктів протягом світлового дня фіксувався на фото в 6.00, 9.00, 12.00, 15.00 до 18.00 годин. Спостереження за зміною впливу сонячного освітлення проводилися по кожному з 4-х фасадів, орієнтованих на різні сторони горизонту (північ, південь, схід, захід). В процесі дослідження були проведені спостереження і проведені підрахунки площ падаючих тіней (у % від загальної площі фасаду), які змінювалися на протязі дня (21 червня та 21 грудня) на різних фасадах багатоповерхових житлових будинків, побудованих в м. Харкові. Таким чином, з точки зору архітектурної композиції, світлове середовище активно впливає на виявлення морфологічних характеристик будівель, їх



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

пластичної виразності фасадів, феноменологічних вражень вагових співвідношень мас, тектоніки, метро-ритмічних закономірностей членувань саме в години сонячної інсоляції. Коли будівлю не освітлено прямими сонячними променями або перебуває під впливом розсіяного світла в похмуру погоду, сприймається лише його темний силует на тлі неба. Такі об'єми здаються важкими, загрубілими, без фасадної пластики, зазвичай створюється виступаючими елементами і деталями.

Природне світло – один з найважливіших факторів, що впливають на комфорт і зручність інтер'єру, його планувальне рішення і образні характеристики. Джерелами природного світла є вікна, балкони, слухові вікна, вітрини, суцільне скління фасадів, ліхтарі і прозорі покрівлі, а також світловоди. Спеціальне устаткування, яке дозволяє регулювати потік природного світла – це різні типи штори, жалюзі, маркізи, тенти, мембрани, оптичні діафрагми і інші як традиційні, так і новітні високотехнологічні системи. Світло підкреслює, змінює, а деколи і повністю формує образ і атмосферу середовища.

З розвитком і ускладненням архітектурної схеми інтер'єру розвивається і ускладнюється його освітлення. Освітлення інтер'єрного простору не може бути занесеним до ззовні, довільним доповненням до архітектури, а має органічно витікати з основи архітектурної організації інтер'єру і бути її логічним розвитком. Характер розподілу яскравості в інтер'єрі, його «яскравої композиції» визначається всією архітектурною композицією, загальним архітектурним задумом. Світловий ритм, який збігається з власне архітектурним ритмом і включається до нього, підсилюються розкриття загального композиційного задуму, може бути обґрунтованим і необхідним. Додатковий світловий ритм, що створює ілюзорне розчленовування форм інтер'єру за рахунок різної яскравості повторюваних архітектурних елементів або чергуванням тіней, може виявитися руйнівним для сприйняття цілісної композиції (рис. 1.).

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

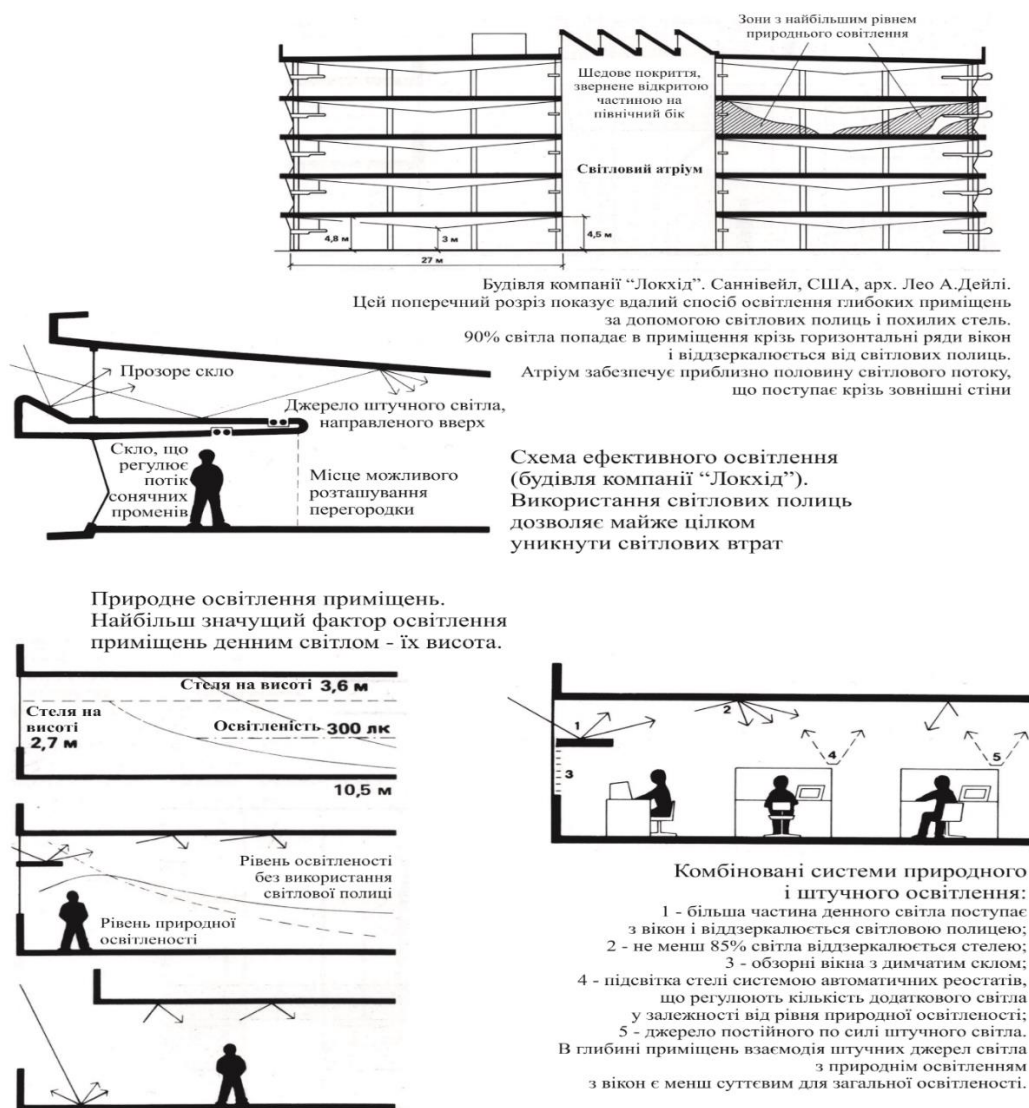


Рис. 1. Взаємодія природного і штучного освітлення у внутрішньому просторі

Під світло-насиченістю мається на увазі візуальне враження заповнення інтер'єру світлом. Вона визначається яскравістю (одночасно освітленістю і світлин поверхонь приміщення). Враження «світло-насиченості» інтер'єру визначається одночасно коефіцієнтами відображення його поверхонь і їх освітленістю. Ці фактори взаємно пов'язані та у відомих межах можуть компенсувати один одного. Світло-насиченість відіграє важливу роль у створенні зорового образу. Інтер'єр, наповнений світлом, зміцнює почуття святкової піднесеності, спокою, бадьорості, впевненості. Слабо освітлений, напівсутінковий інтер'єр підсилює тужливий настрій, невпевненість,

пригніченість духу. Різке світло і тіні без світлових рефлексів висловлюють стан тривоги, відчуття загрози.

При проектуванні інтер'єрів, де відбуваються процеси, що вимагають точності бачення, оптимальні характеристики світлового середовища, як правило, визначає світлотехніка. Вважається недоцільною інсоляція таких громадських приміщень як хімічні лабораторії у вищих навчальних закладах і науково-дослідних інститутах, бібліотечні сховища, архіви, операційні та реанімаційні зали лікарень, виставкові зали, зали-музеї, картинні галереї, а також цехи промислових підприємств, де інсоляція може створювати відблиски, заважаючи технологічним процесам.

Соціологічні дослідження психологічної ролі інсоляції в житті людини було проведено у Великій Британії, Швеції, Нідерландах, Росії, республіках Середньої Азії і Кавказу, які дали змогу виявити, що найвище оцінюється інсоляція приміщень з орієнтацією на південний схід, а далі оцінка поступово знижується – на схід, південь, південний захід, захід, північний схід. Найгірші умови інсоляції приміщень, які орієнтовані на північ. В них ні в які пори року інсоляція не спостерігається. Опитуванням спеціально вибраних груп населення було встановлено, що здебільшого люди бажають мати квартиру з інсоляцією, при цьому половина опитаних хотіла б мати квартиру з біля полуденною інсоляцією тривалістю 2 – 5 годин. Переважна більшість визнає, що тривалість інсоляції менше ніж 2 години оцінюється як «надто мало сонця», 2 – 3 години – як задовільна тривалість, а понад 3-х годин навіть у Данії визнано як «надто багато сонця». Узагальнюючи результати досліджень психологічної ролі інсоляції на людину, М.В. Оболенський доходить висновку, що інсоляцію приміщень протягом 2 – 4 годин на день можна вважати прийнятною для психологічних потреб людини. Діючими Державними будівельними нормами «Містобудування» ДБН 369-92 передбачається, що тривалість безупинної інсоляції житлових і громадських приміщень має становити не менше ніж 2,5 години на період з 22.03 до 22.09 у районах, розташованих південніше 58° північної широти (пн. ш.) [110].

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Було проведено опитування й анкетування жителів 25-поверхового житлового будинку, побудованого між стадіоном «Піонер» і Сумським ринком, а також жителів 25-поверхового житлового будинку по вул. Культури № 20-В, двох 12-поверхових житлових будинків по вул. Танкопія № 11 в м. Харкові, які мешкають у чотирьохкімнатних квартирах.

Запропоновані питання були наступні: 1. Чи влаштовує мешканців квартири інсоляція приміщень та її тривалість? 2. Дайте оцінку за 10-ти бальною шкалою природного освітлення кожної з кімнат в першій половині світового дня (до 12:00) і в другій половині світлового дня (після 12:00). 3. Чи всі приміщення мають однакову інсоляцію? 4. Яка рівномірність інсоляції на протязі дня? 5. Дайте оцінку за 10-ти бальною шкалою, наскільки розміри вікон дозволяють освітлювати всю площу кімнати й глибину інтер'єру (кухні, спальні, загальна кімната)? 7. Дайте оцінку вашим відчуттям, що виникають від інсоляції в різних кімнатах (приміщеннях) квартири ?

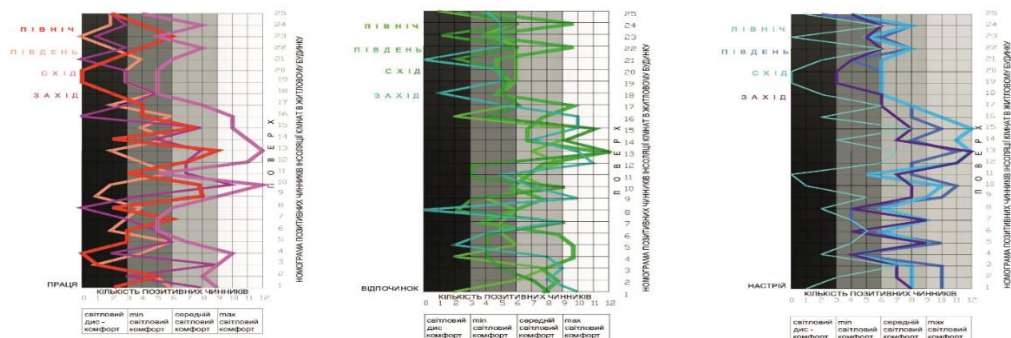
При цьому враховувалася орієнтація кімнат по сторонах світу і поверх. Розглядалися квартири, в яких одна з кімнат орієнтована на північ, одна – на південь, одна – на захід і одна – на схід.

На прикладі 25-поверхового житлового будинку було проведено опитування 10 – 12 людей, які мешкають на одному поверсі, з метою визначення позитивних (+) і негативних (-) відчуттів від інсоляції того чи іншого приміщення (до полудня та після полудня), а головне – її вплив на процеси життєдіяльності (праці, відпочинку) й загального психологічного настрою людей, що мешкають у даних умовах. Всього було опитано 300 людей.

За результатами опитування були побудовані таблиці й номограми відповідно кожному поверху, на яких наочно видно, як оцінюють жителі інсоляцію і її вплив на здатність до праці, на відпочинок і настрої мешканців в залежності від орієнтації приміщення по сторонах світу. Крім того були побудовані графіки, які показують, як змінюються позитивні відчуття від інсоляції в залежності від поверхів (рис. 2).

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Всі графіки однозначно демонструють діаметральну протилежність даних позицій «домашня діяльність» і «відпочинок» по відношенню до «настрою», тобто, наприклад, при орієнтації кімнат на південну сторону більшість позитивних відповідей торкалися категорій «відпочинок» і «настрій» у порівнянні з категорією «труд». Заняття трудовою домашньою діяльністю в умовах південної орієнтації приміщень не є переважними. При орієнтації кімнати на схід позитивні показники категорій «домашня діяльність» і «настрій», що аналізувалися, переважають над отриманими позитивними відповідями жителів за категорією «відпочинок». При цьому найбільша кількість людей, яких опитували і проживали в квартирах, розташованих на 10 поверсі та з 12-го до 16 поверху, позитивно оцінювали комфортні умови, які створюються інсоляцією, і для праці, і для відпочинку та для загального настрою.



Номограми позитивних чинників інсоляції фасадів для будівель громадського призначення м. Харкова

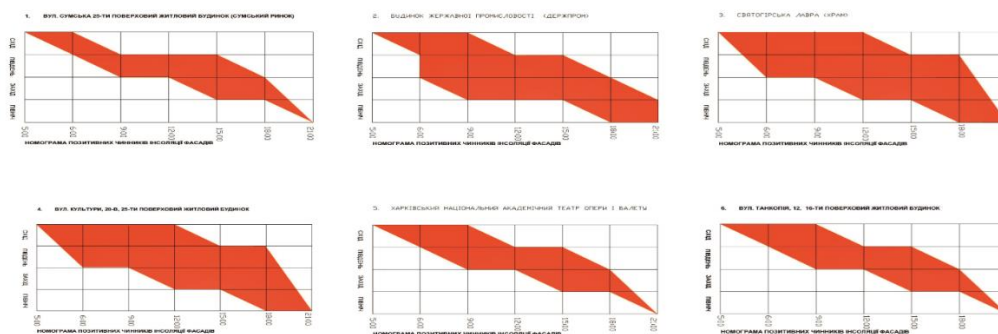


Рис. 2. Номограми позитивних чинників інсоляції кімнат 25-поверхового житлового будинку (вплив освітлення на комфортні умови праці, відпочинку, настрою)

При західній орієнтації кімнат максимально велика кількість позитивних оцінок за всіма трьома категоріями, що розглядалися, дали жителі 1, 3, 5, 7, 9 – 16 поверхів. Люди, що мешкають з 17 по 25 поверх, а також на 4, 6, 8 поверхах оцінили меншими показниками ступінь комфортності світлового середовища в частині «домашньої праці», «відпочинку» і «настрою».

При орієнтації кімнат на північну сторону горизонту число позитивних оцінок інсоляції мешканцями менше у порівнянні з кімнатами, орієнтованими на інші сторони світу. Опитувані відзначали максимально позитивні умови для праці й відпочинку, що створюються інсоляцією на 2, 3, 9, 10, 12, 13, 15 поверсі. На 17 – 22 та 24 поверсі інсоляцією створюються оптимальні умови тільки для відпочинку, а для праці й настрою показники падають до «0».

В цілому приміщення, розташовані на будь-яку із сторін світу (північ, південь, захід, схід) на 24 і 25 поверсі мають меншу кількість позитивних відповідей людей, які живуть на цих поверхах, за всіма категоріями життєдіяльності, що розглядалися. Номограми наочно демонструють переважний світловий дискомфорт для всіх життєвих процесів на верхніх поверхах будинків (від 13 до 25-го), що може стати передумовою для перегляду діючих норм і державних стандартів. В результаті комп'ютерної статистичної обробки матеріалів обслідування і опитування мешканців багатоповерхових будинків були винайдені рівняння, які розкривають взаємозв'язок величин розподілення за поверхами і показниками. Визначений коефіцієнт кореляції (дисперсія) в межах (06-07), тобто 50% і більше, свідчить про існування сталого взаємозв'язку між цими величинами, які аналізуються. Формула дисперсії (розкид результатів відповідей людей, що мають різні відчуття, сприйняття та думки) показує соціальну складову цього експерименту (рис. 3.).

В рамках задач даного дослідження вперше на території України було проведено соціологічне опитування жителів висотних (12-ти і 25-ти – поверхових) житлових будинків, побудованих за останні 10 років в м. Харкові, з метою з'ясування впливу сонячного освітлення на процеси праці (домашньої діяльності), відпочинку і загального психоемоційного стану (настрою)



# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

мешканців (позитивні та негативні реакції на умови інсоляції в приміщеннях) в залежності від орієнтації квартир по сторонах горизонту і висоти поверху. Результати опитування мешканців були зафіксовані (послідовно від 1-го до 25-го верхнього поверху) у графоаналітичних номограмах, на основі чого були зроблені відповідні висновки відносно ступеню комфортності інтер'єрного світлового середовища для життєдіяльності людини. Переважний світловий дискомфорт для всіх життєвих процесів на верхніх поверхах будинків (від 13 до 25-го) може стати передумовою для перегляду діючих норм і державних стандартів.

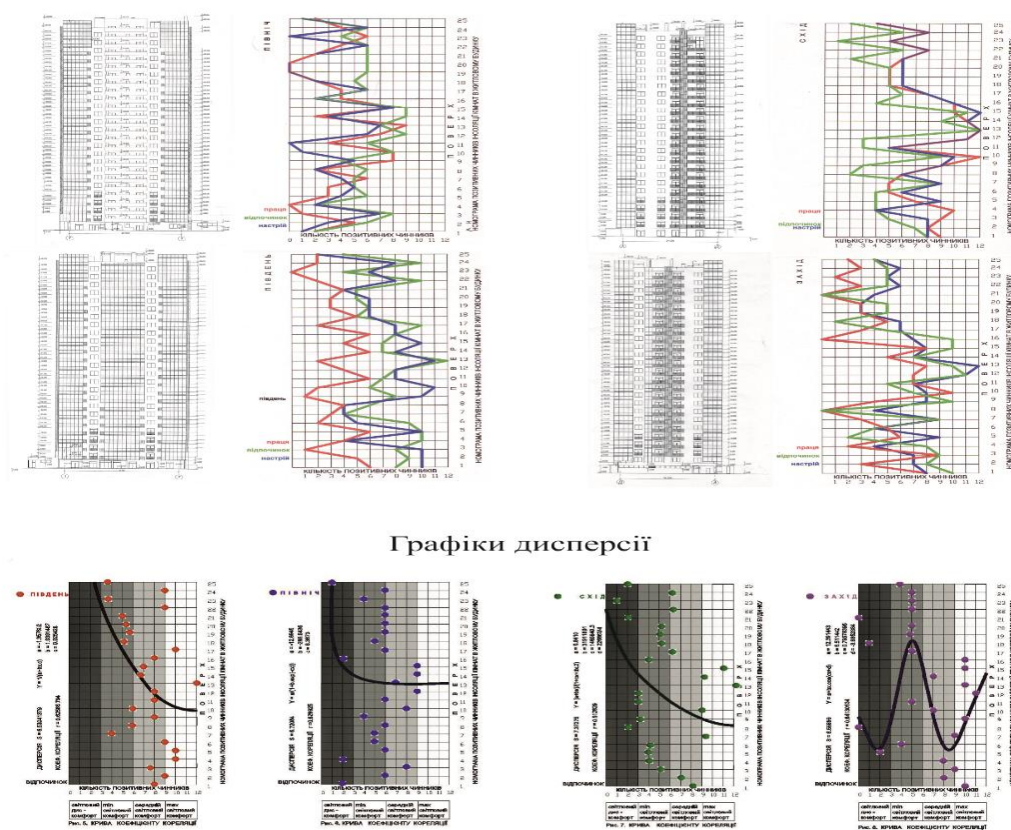


Рис. 3. Номограми позитивних чинників інсоляції кімнат у багатоповерховому будинку (м. Харків)

Натурні спостереження, проведені в часи заходу сонця, коли закінчується період впливу на архітектурне середовище природного освітлення і починається період функціонування штучного освітлення, дозволили підтвердити важливість сфери штучного освітлення міста у візуально-практичній і естетичній організації

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

міського середовища у вечірній і нічний час. Штучне освітлення докорінно змінює сприйняття морфології архітектурної форми, роблячи її нематеріальною, перфорованою, невпізнаною. Архітектурні будівлі житлового та громадського призначення самі стають джерелами світла і беруть на себе наступні функції: інформаційні зорові, морфо-функціональні та непрямі, які в сукупності утворюють ступені комфортності архітектурного світлового середовища [111].

Даним дослідженням виявлені стимули психологічного аспекту інсоляції: візуальний та термічний. Основним фактором, що визначає психологічні реакції людини, є не площі поверхонь, які освітлюються сонцем, а час інсоляції та напрямок сонячних променів по відношенню до людини та лінії його зору, а також візуальна «усвідомленість» людини про наявність інсоляції не тільки в приміщенні, але й у зовнішньому середовищі. Оптимальною для задоволення психологічних потреб людини вважають тривалість інсоляції житлових приміщень 2 – 4 години на день. Державними будівельними нормами України «Містобудування» ДБН 360-92\*\* передбачається тривалість безперервної інсоляції житлових і громадських приміщень не менш ніж 2,5 години в період з 22.03 по 22.09. Безперервна тригодинна інсоляція будинків і територій призводить до теплового дискомфорту (в південних і в центральних районах), а також до світлового дискомфорту у всіх географічних районах.



### **1.11 Аналіз гідрохімічного стану річки Південний Буг за показником розчиненого кисню**

Проблема захисту природного середовища, в тому числі водних об'єктів, сьогодні гостро стоїть на порядку денному в усіх країнах світу. Гостро це питання стоїть і в Україні.

На міжнародному рівні країна – держава в якій рівень забезпеченості водними ресурсами є недостатнім. Водні об'єкти України вкривають 24,2 тис.км<sup>2</sup>, що становить 4,0% від її загальної території (603,7 тис. км<sup>2</sup>), вони визначаються формуванням річкового стоку, наявністю підземних і морських вод. В об'ємному відношенні ресурси річкового стоку нашої держави оцінюються в 209,8 км<sup>3</sup>, з яких місцевий стік на території України становить в середньому 52,4 км<sup>3</sup>, притік — 157,4 км<sup>3</sup> [112]

Південний Буг – найбільша річка України, басейн стоку якої повністю лежить в межах країни. Басейн р. Півд. Буг географічно розташований на півдні країни та перетинає лісостепову і степову зону України. Основні гідрологічні характеристики річки: довжина — 806 км, площа басейну - 63,7 тис. км<sup>2</sup>, середньорічний стік 108 м<sup>3</sup>/с [112]. Басейн розташований у двох геоморфологічних областях – верхня і середня частина розташована на Волинсько-Подільській та Придніпровській височинах, а нижня – на Причорноморській низовині, саме тому умовно виділяють 2 гідрологічних райони басейну стоку Півд. Буг – Подільський і Причорноморський (рис. 1). Для річки характерна висока зарегульованість. В басейні даної річки створено понад 8 тисяч штучних водойм. В басейні розташовано 188 водосховищ, загальною площею водного дзеркала 30,8 тис.га, сумарним об'ємом 897 млн м<sup>3</sup>. На самій річці Південний Буг створено 16 руслових водосховищ, загальний обсяг яких становить 303 млн м<sup>3</sup>. При цьому в басейні даної річки ще існують мало порушені ділянки, на яких зберігаються унікальні флора та фауна Поділля, гранітно-степового Побужжя та причорноморських рівнин [112].

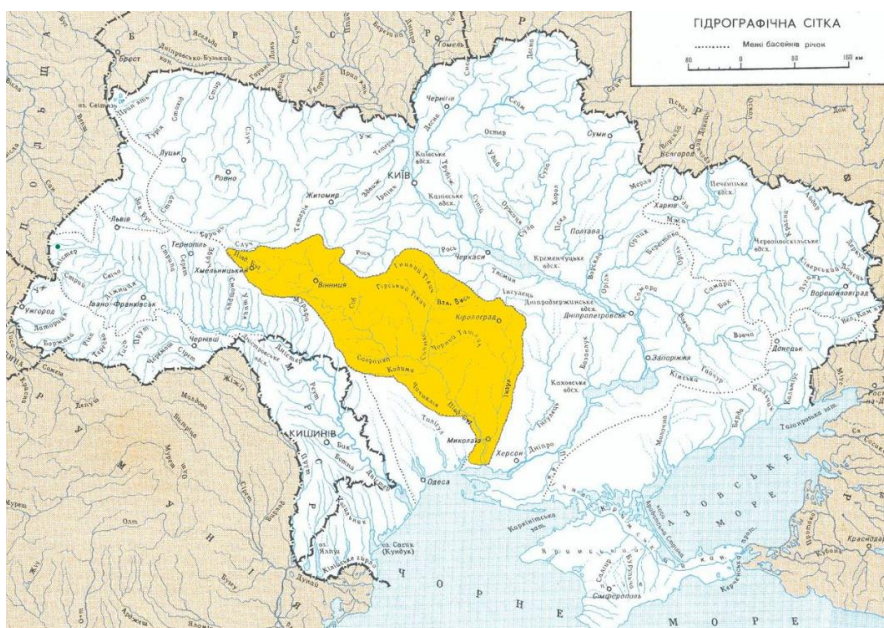


Рис. 1. Межі басейну стоку річки Південний Буг (джерело)

Головною водно-екологічною проблемою річки є стан річкового басейну, який вказує на його головні «хвороби». Ці «хвороби» не дозволяють річці проходити процес природнього самовідновлення, оскільки саме антропогенний вплив стає диктуючим фактором на екологічний стан водойми. Достовірна інформація з моніторингу, водокористування, кількості населення, економічної діяльності, використання добрив та засобів хімічного захисту рослин тощо дозволить проводити комплексний аналіз даних з метою детального опису, аналізу та прогнозування стану природніх водойм України.

Серед водно-екологічних проблем річкових басейнів України, в тому числі і Південного Бугу, найзначимішими є:

- ✓ забруднення поверхневих та підземних вод,
- ✓ гідроморфологічні зміни річок і водойм,
- ✓ виснаження підземних вод.

Якщо проаналізувати вказані фактори на прикладі басейну річки Південний Буг можемо зробити наступний висновок: вони спричиненні антропогенною діяльністю, а саме:

- значним розвитком аграрного сектору;

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- розміщенням в межах басейну низки великих міст, таких як Хмельницьк, Вінниця, Кіровоград, Гайворон, Первомайськ, Южноукраїнськ, Нова Одеса, Миколаїв та ін;
- розміщенням енергетичних об'єктів споруджено 38 малих ГЕС, Ташлицька ГАЕС. На лівому березі річки розташована Південноукраїнська атомна електростанція.

Все вище перераховане обумовлює значне антропогенне навантаження на річку, тобто забруднення води органічними сполуками та мінеральними речовинами (зокрема сполуками азоту та фосфору у різних хімічних формах), і як наслідок малий вміст розчиненого кисню у водоймах.

Створення та застосування в дії програми заходів для вирішення водно-екологічних проблем здійснюється у співпраці науковців та фахівцями басейнового управління водних ресурсів [112].

Наведемо ряд заходів, що пропонується науковцями, які повинна містити програма із порятунку та відновлення природного стану річки Південний Буг, спрямованих на:

- жорсткіший моніторинг скиду стічних вод і, як наслідок, зменшення забруднення поверхневих вод органічними та хімічними речовинами;
- зменшення впливу гідроморфологічних змін русла водойм, а також забезпечення оптимальної його життєдіяльності;
- залучати достатню кількість науковців для дослідження стану річки та створення пропозицій, з метою вирішення проблем, пов'язаних із забрудненням підземних вод;
- жорсткіший контроль над використанням водних ресурсів та вирішення проблем, пов'язаних із неконтрольованим їх використанням;
- своєчасне реагування та прогнозування викликів, що стосується зміни клімату;
- вирішення проблем, пов'язаних із забрудненням побутовими відходами, в тому числі пластиком;

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- вирішення проблем, пов'язаних із поширенням та негативним впливом інвазійних видів рослин;
- вирішення проблем, пов'язаних із негативним впливом військових дій на території України.

Пам'ятаймо, проблеми що виникають сьогодні будуть мати свої наслідки протягом десятків років, а то й сотні років, якщо їх не вирішувати,

Інститутом гідробіології НАН України виконано аналіз гідрохімічних даних та архівних матеріалів інституту за останні 20 років, який показує, що основні гідрохімічні показники р. Південний Буг змінювались в широких межах [114, 115, 116]. Максимальний вміст мінерального фосфору ( $0,880 \text{ мг/дм}^3$ ) відзначено нижче м.Хмельницького, в той же час вище міста його концентрація наближалась до аналітичного нуля. У таблиці 1 відображено вміст фосфатів на деяких гідрометричних постах річки Південний Буг. При цьому слід зазначити, що влітку вміст фосфатів у воді значно зростає порівняно з весною, що цілком обґрунтовується природними процесами, що відбуваються у відкритих водоймах. Мінімальні величини концентрації амонійного азоту відмічені на розрізі біля с. Гур'ївка, а максимальні – в районі м. Вознесенська та у гирлі р. Мертвовід. Слід вказати, що біля м. Вознесенськ зафіксована також і максимальна для нижньої ділянки концентрація мінерального фосфору ( $0,790 \text{ мг/дм}^3$ ), що, ймовірно, пов'язано із впливом промислово-побутових стоків міста. В той же час невисокі концентрації нітратів, скоріш за все, обумовлені як їх споживанням представниками флори в літній період, так і низькою інтенсивністю процесів нітрифікації. Загалом було встановлено, що в річці, нижче стоків населених пунктів іноді на порядок підвищувався вміст фосфатів та легкодоступної органічної речовини.

Таблиця 1

### Вміст фосфатів у створах річки Південний Буг

| Гідр. створ                       | вище м. Вінниці | нижче м. Вінниці | вище м. Хмельника | нижче м. Хмельника       |
|-----------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| Вміст фосфатів, $\text{мгР/дм}^3$ | 0,020           | 0,260            | 0,090             | 0,170 $\text{мг Р/дм}^3$ |

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Основний негативний вплив фосфатів у водних об'єктах спроявляється в тому, що вони сприяють масовому розвитку синьо-зелених водоростей, як наслідок вода стає непридатною для використання. Як продовження вказаного процесу слідує відмирання водоростей і у водоймах починається процес гниття, який вимагає великої кількості кисню. Тобто бактерії, що окислюють органічні сполуки, активно споживають розчинений у воді кисень, спричиняють до кисневого голодування жителів, а саме загибелі риб, ракоподібних та ін.

Про стан водойми даним показником можна говорити про «стан здоров'я» водойми. У даній науковій роботі проаналізовано зміну розчиненого кисню у р. Південний Буг, починаючи з 2000 до 2021 року. Наявність розчиненого кисню у воді є обов'язковою умовою існування багатьох організмів, що населяють водний об'єкт, саме за Кисень бере участь у біологічних, біохімічних та хімічних процесах самоочищення водних об'єктів. Він використовується при розкладі розчинених органічних речовин, відмерлих рослин та тварин. При цьому складні речовини перетворюються на прості вуглекислий газ, воду, азот і знову включаються в кругообіг речовин у воді. Дефіцит кисню негативно впливає на інтенсивність процесів самоочищення, що є надзвичайно важливо в умовах постійного антропогенного впливу на водні об'єкти. Кисневий режим водойм має велике значення для оцінки якості природних вод [117-121]. Згідно нормативних документів [114] вміст кисню у водоймі, що відноситься до господарсько-питного водокористування становить 4 мг екв/л, а для рибогосподарського 6 мг екв /л у літній період.

Вміст кисню у воді впливає на життєдіяльність фауни й флори водойм. Наприклад, мінімальний вміст розчиненого кисню, що забезпечує нормальний розвиток риб, становить близько 5 мг/л. Зниження його до 2 мг/л викликає масову загибель риб. Таким чином, вміст розчиненого кисню є важливим параметром оцінки якості санітарного стану водойм. Зниження його вмісту вказує на різку зміну біохімічних процесів у водоймі [122,123]

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

В ході дослідження було проаналізовано «екологічне здоров'я» річки Південний Буг. Для аналізу використовували дані Державного водного кадастру. Виявлено негативний екологічний стан усього басейна внаслідок звчного антропогенного впливу. Для детального аналізу було вибрано 4 гідрологічних пости по усій довжині річки, на яких відбувається визначення якості води за показниками вказаними в нормативних документах, в тому числі і за вмістом розчиненого кисню. На постах у м. Миколаїв (Бузький лиман) та м. Гайворон, розташованих відповідно на 0,5 км та 316 км від гирла річки, були відображені дані з 02.2000 р. до 12.2018 р. На постах у м. Вінниця та м. Хмельницький, що віддалені від гирла, відповідно, на 582 км та 755 км, дані за період 02.2000 – 12.2021 рр. На усіх вказаних постах спостерігається перевищення нормативного значення за показником розчиненого кисню.

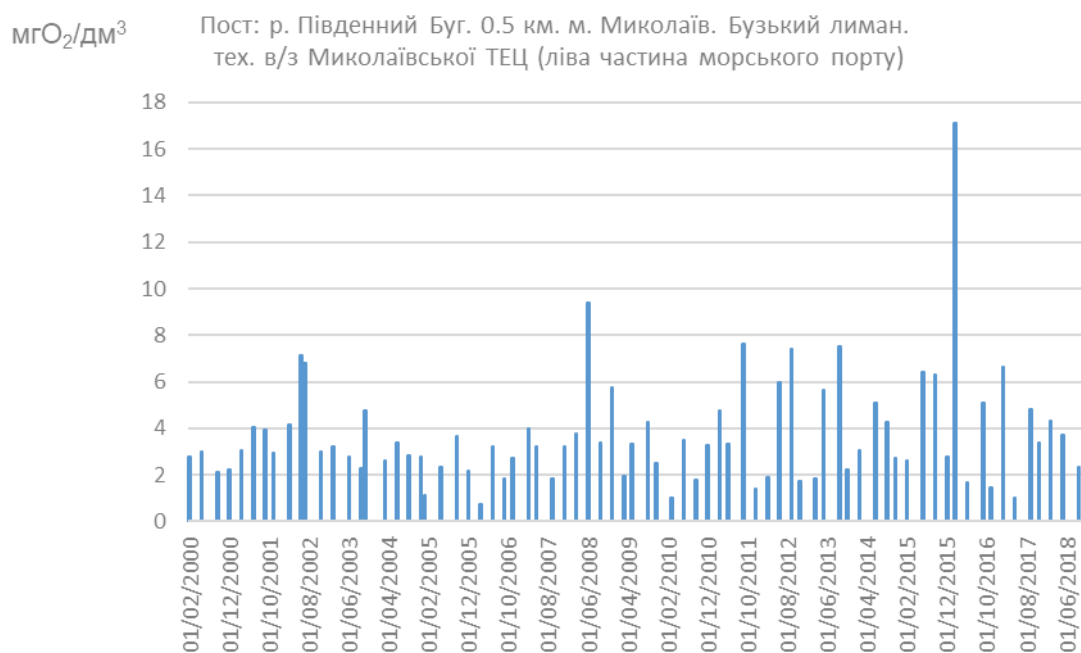


Рис. 2. Значення розчиненого кисню (мг екв/дм<sup>3</sup>) для посту, що розташований у м. Миколаїв, за період 02.2000 р. до 12.2018 р.

На рисунку 2 представлено дані одержані для посту, що розташований у м. Миколаїв. Дане місто розташоване практично у гирлі річки Південний Буг. По осі абсцис відображені дати відбору проб, а вісь ординат вказує нам кількість розчиненого кисню в мг екв/дм<sup>3</sup>

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

З графіка (рис. 2) бачимо, що найгірший показник був отриманий 20 березня 2006 і він становив дорівнював  $0,74 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ , що становить 18,5 % норми, таке значення значною мірою порушувало зазначені вимоги. Натомість найкращий показник був отриманий 14 жовтня 2003 року становив  $4,76 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ . Зі всіх отриманих даних всього 29% відповідали вимогам, що свідчить про дуже поганий стан води на зазначеній території. З графіка (рис. 2) бачимо, що немає певної сезонної закономірності у значеннях концентрації розчиненого кисню, що говорить про те що забруднення спричинені діяльністю людини.

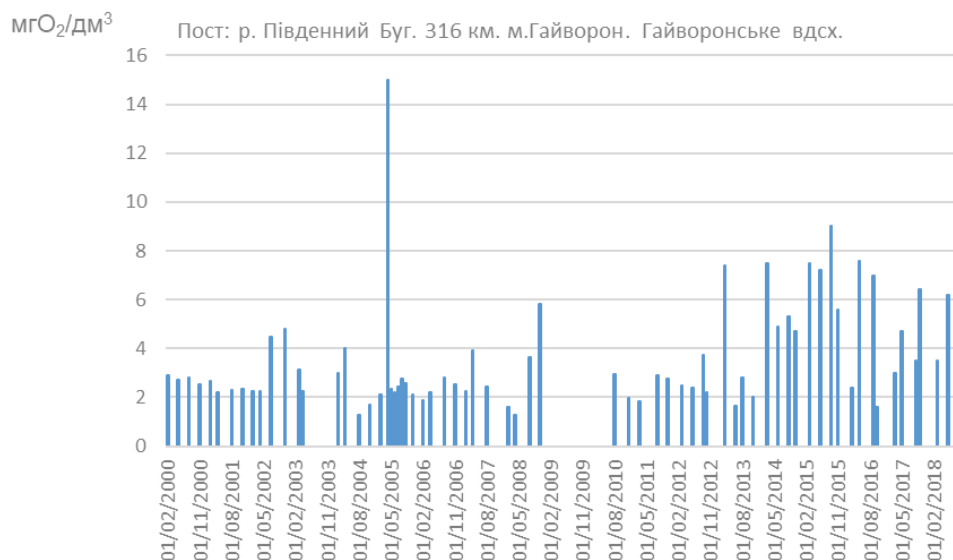


Рис. 3. Значення розчиненого кисню ( $\text{мг екв}/\text{дм}^3$ ) для посту, що розташований у м. Гайворон, за період 02.2000 – 12.2021 рр..

Ситуація на посту у місті Гайворон являється найгіршою – 70 % з поданих показників не відповідав нормам, що свідчить про поганий стан кисневого балансу у Гайсинському водосховищі, але хочеться відмітити, що починаючи з другої половини 2018 спостерігалось покращення ситуації.

Ситуація у Сабарівському водосховищі, що розташоване неподалік м.Вінниця являється найкращою зі всіх нами проаналізованими - всього 36% даних не відповідають нормам, що свідчить про непоганий стан водойми і цьому регіоні, проте все одно потрібно зменшувати кількість періодів, коли вміст кисню замалий.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

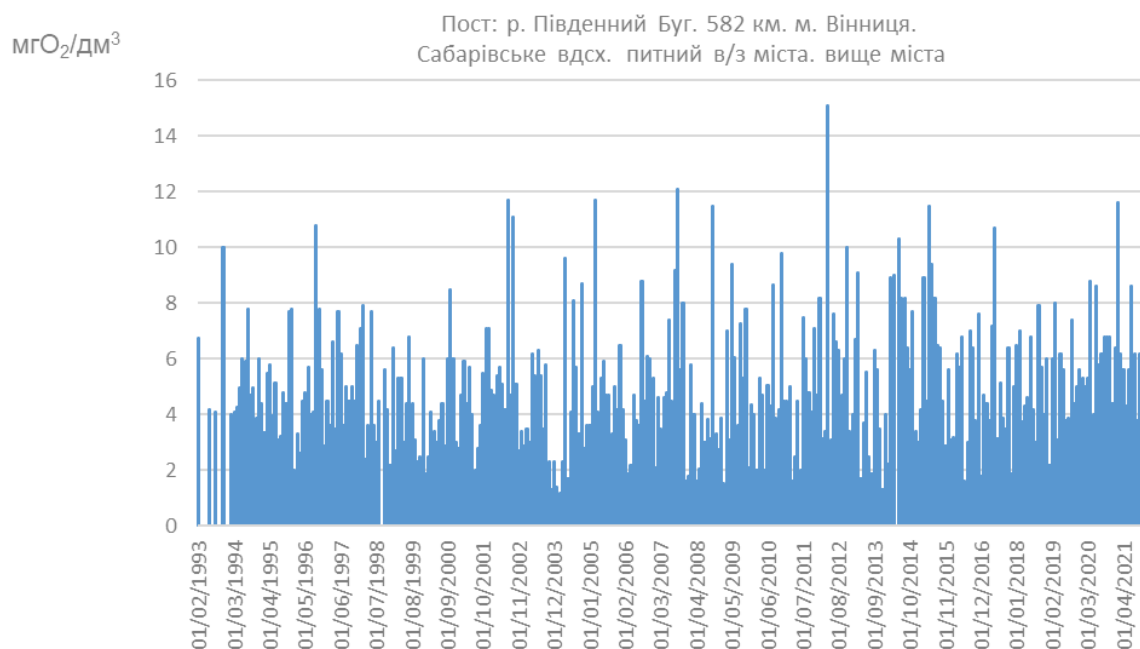


Рис. 4. Значення розчиненого кисню (мг екв/дм<sup>3</sup>) для посту, що розташований біля м. Вінниця, за період 02.2000 – 12.2021 рр.

У Тернопільському водосховищі ситуація схилилася у гіршу сторону - 55% показників не відповідають вимогам, що також свідчить про поганий кисневий баланс у водоймі.

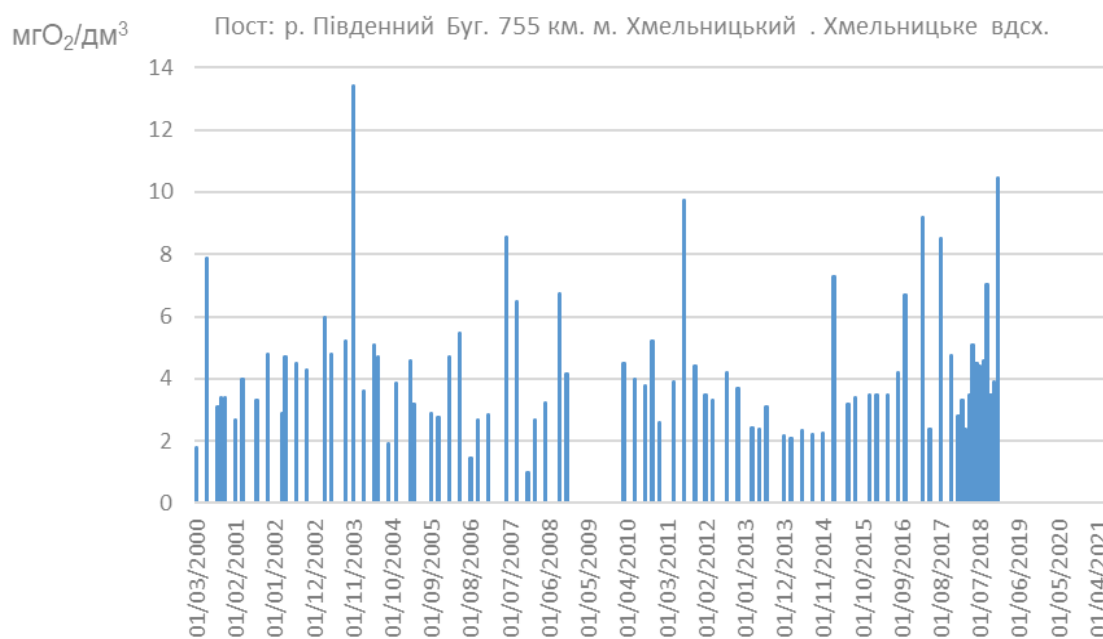


Рис. 5. Значення розчиненого кисню (мг екв/дм<sup>3</sup>) для посту, що розташований у м. Тернопіль, за період 02.2000 – 12.2021 рр..



Значення вмісту розчиненого  $O_2$  у воді річки Південний Буг на гідрологічних постах

| Назва міста де розташ. гідропост | Макс. значення, $mgO_2/dm^3$ / дата спостереження | Мін. значення, $mgO_2/dm^3$ / дата спостереження | Відсоток показників, що не відповідають нормі | Середн. значення показників, $mgO_2/dm^3$ |
|----------------------------------|---|--|---|---|
| Миколаїв                         | 17,12/15.02.16                                    | 0,74/20.03.06                                    | 71  | 3,72                                      |
| Гайворон                         | 15/15.04.05                                       | 1,27/18.08.04                                    | 70  | 3,66                                      |
| Вінниця                          | 15,1/05.04.12                                     | 1,2/10.02.04                                     | 36  | 5,06                                      |
| Хмельницький                     | 13,45/24.11.03                                    | 1,0/11.12.07                                     | 57  | 4,27                                      |

Аналізуючи дані таблиці, видно, що на усіх представлених постах є перевищення нормативного значення показника розчиненого кисню. У найгіршому стані є води Гайворонського водосховища, де 100% представлених показників не відповідають нормі для господарсько-побутових водних об'єктів. Найкраща ситуація серед розглянутих постів спостерігалася у м. Вінниця у водах Сабарівського водосховища, тут лише 33% наднормових показників. Робота звертає увагу на екологічний стан природних водних джерел України, а саме річки Південний Буг.

## 1.12 Характерні властивості архітектурної системи

Видиме середовище ділиться на природне і штучне. Психофізіологічний аспект – це процес сприйняття архітектури як реальності, що фізично існує, із притаманними їй властивостями – масою, об’ємом, розмірами, розташуванням в просторі, фактурою, світлом та кольором. На психофізіологічному рівні можливо досліджувати вимоги до місць, де людина на рівні підсвідомості відчуває себе комфортно [124].

Архітектурні системи характеризуються наступними властивостями:

1. «Проти-інтуїтивна поведінка», коли відповідна поведінка складної (неоглядної) системи може серйозно заважати її опису, побудові її моделі.

2. Мінливість складної системи у часі (динамічність системи). Незмінних систем немає, однак (теоретично) крім динамічних систем виділяють статичні системи, які зберігають свої параметри та зв’язки практично незмінними на усьому інтервалі часу, який цікавить дослідника. Статистичні системи найчастіше належать до абстрактних або теоретичних об’єктів, чим до реальних.

3. Наявність просторових або інших меж системи, які можна окреслити, тобто виділити систему зі зовнішнього середовища, визначити, які елементи належать до системи, що вивчається, а які – до зовнішнього оточуючого середовища. Оточуюче середовище встановлює зовнішні межі, що абсолютно необхідно при вивченні відкритих систем, взаємодіючих з іншими системами.

4. Складність та невизначеність характеру взаємодії системи зі зовнішнім середовищем (системи, які активно взаємодіють зі зовнішнім середовищем, – «відкриті»; системи, які не взаємодіють зі зовнішнім середовищем, – «закриті» системи). Для «відкритих» систем поряд з поняттям «внутрішня» система використовується поняття «зовнішнє» середовище, з якою система обмінюється інформацією, ресурсом, речовиною та тому подібне.

5. принципова нестійкість складних систем та необхідність певної системи керування як засобу забезпечення стійкості. Наприклад, для забезпечення стійкості складної системи «архітектурне середовище – людина» С.Г. Чечельницьким розроблена система керування – «візуальна екологія архітектури» [125].

6. цілеспрямованість (цілепокладання). Формування цього наукового поняття ще не завершено, його застосовують до опису систем, які включають людину. «Екологічна система» поводить себе доцільно, у неї є свого роду «ціль» – рівновага з середовищем. Подібним же чином поводять себе і природні екологічні системи, де живі організми або адаптуються до середовища, або вимирають. У цьому аспекті, як відзначає С.Г. Чечельницький в докторській дисертації, найважливішим питанням є в'яснення механізмів вироблення системою архітектурного середовища механізмів взаємодії з основним її споживачем – людиною. Аналіз цих механізмів та розроблення певного роду критеріїв рівноваги системи «архітектурне середовище – людина» і є основним з основних завдань «візуального архітектурного середовища» [125].

7. Процес безперервного підвищення значущості інформаційної складової по мірі зростання організаційної та поведінкової складності систем аж до трансцендентного рівня (класифікація К. Боулдінга).

Врешті решт інформація сама становиться системою, починає тяжити над системами нижчих рівнів і (у декотрому сенсі) «інформація починає існувати самостійно» [125].

Відомим теоретиком С.Г. Чечельницьким, архітектурне середовище як об'єкт візуального сприйняття людиною розглянуто, як найскладніша багаторівнева система. «Архітектурне середовище – людина» – нестійка система, яка має зовнішнє середовище та активно з ним взаємодіє, змінюється у часі і, отже, є динамічною системою. Зокрема, відзначається, що архітектурне середовище як система складається з певних компонентів. Первинна композиція буде виступати підсистемою цілої композиції, деталь – підсистемою будівлі, будівля – підсистемою комплексу забудови, комплекс –

міста. Кожний з виявлених рівнів системи архітектурного середовища повинен відповідати вимогам візуального комфорту [125].

Реалізацію принципів формування екологічно збалансованого архітектурного середовища забезпечують: системний метод архітектурно-екологічного підходу, орієнтаційного проектування, моделювання, трансформативності, аналогій, ідентифікації з місцем, комплекс енергоекономічних заходів.

У дослідженні архітектурних систем використовуються наступні методи: метод фотофіксації, метод – результат та оцінка., аналітичний метод, метод моделювання, метод шкали та бальних оцінок, метод порівняння архітектурних об'єктів за характерними ознаками. Визначення достовірності результатів експертних суб'єктних оцінок психоестетичних параметрів світлового середовища, як правило робилося методами математичної статистики [129].

Фотофіксація – систематичне комплексне обстеження яких-небудь об'єктів або явищ, інструментальне та органолептичне (визначення характеристик природних складових за допомогою органів слуху, зору, нюху). Фотофіксація – це постійне спостереження за станом об'єкту, систематичне вимірювання параметрів об'єкту або процесу, що контролюється. Система екологічної фотофіксації – складна система, яка містить підсистему спостереження, підсистему інформаційної підтримки, яка є відкритою та доповнюється після кожного сеансу спостереження, підсистему аналізу, підсистему прогнозування та підсистему вироблення найкращих ситуації.

Фактори, які погіршують в тій чи іншій мірі екологічні умови, можна розділити на внутрішні, пов'язані з життєдіяльністю населеного пункту, і зовнішні, які обумовлені широким комплексом ландшафтних умов.

Внутрішні фактори – санітарно-гігієнічні та технічні умови, що знижують комфортність, надійність і безпеку проживання. Зовнішні фактори – несприятливі природно-кліматичні умови, пов'язані з надмірним антропогенним навантаженням.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Метод – результат та оцінка. Групи експертів можуть оцінювати відчуття «сонячності» і світлової насиченості інтер'єрів. Експертні оцінки необхідні для таких глобальних проблем, як «людина і середовище». Вони використовуються в дизайні архітектурного середовища, світлотехніці, інженерної екології.

Будь-яка експертна оцінка зводиться до приписування деякому ознаку предмета (або системи предметів) того чи іншого бала, місця. Таке приписування є результатом пізнавального процесу, що має інтуїтивний характер. Приписування (оцінка) ґрунтується на суб'єктивному судженні (думці) спостерігача. Формуванню оцінки зазвичай допомагають навідні запитання (завдання) з боку експериментатора. Оцінка має по суті інтегральний характер навіть у тому випадку, коли експертній оцінці підлягає якась одна ознака.

Ставлення людини до предмету залежить від властивостей предмету, від умов і часу спостережень і від індивідуальних особливостей самої людини, які визначаються його освітою, професією, емоційним настроєм. Саме ця залежність і означає, що судження спостерігача детерміновані. Тут проявляється схожість методів експертних суб'єктивних оцінок з кількісними методами досліджень у соціології, де необхідно враховувати соціальну детермінованість властивостей (думок) членів досліджуваних соціальних груп. Водночас саме завдання вивчення суб'єктивних властивостей спостерігачів відрізняє методи експертних суб'єктивних оцінок від звичайних інструментальних вимірювань, при виконанні яких прагнуть до можливо повного усунення суб'єктивних впливів експериментатора на результат вимірювань. Працюючи з групою спостерігачів, експериментатор вивчає їх суб'єктивні властивості та одночасно властивості предметів, які вони оцінюють. Це означає, що група спостерігачів виступає і як об'єкт дослідження, і як вимірювальний інструмент, який застосовується для оцінки предметів житлового середовища.

Аналізуючи принципи експертних суб'єктивних оцінок, необхідно, перш за все, відповісти на запитання: чи можна взагалі визначити і виразити кількісно

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

певний досить однозначний результат, який можна розглядати як міру типового відношення групи спостерігачів до заданих ознак тих чи інших предметів життєвого середовища людини. Це питання виникає у зв'язку з надзвичайною різноманітністю і мінливістю «смаків», тобто думок і суджень окремих особистостей з приводу таких понять, як «красиво – некрасиво», «приємно – неприємно».

Ставлення людини до предмета визначається не тільки її природженими властивостями, але, перш за все, її вихованням у самому широкому сенсі цього слова, тобто обумовлено об'єктивно діючими соціально-історичними чинниками. З цього витікає висновок, що для групи спостерігачів, підбраної за декотрими заданими ознаками, можна говорити про типове, тобто те, що має об'єктивний сенс ставлення саме цієї групи спостерігачів до тих чи інших, наприклад, психоестетичних функцій та ознакам предметного середовища людини. Таким чином, експертна суб'єктивна оцінка може розглядатися як об'єктивна міра ставлення людини до предмету тільки для більш-менш широких груп спостерігачів, підбраних за декотрими заданим соціальним ознакам. В окремих випадках ці групи можуть бути дуже широкі. Наприклад, якщо необхідно оцінити психоестетичну якість побутового приміщення, то поняття генеральної групи в принципі має охоплювати всіх мешканців даного населеного пункту або місцевості. Як основний принцип методів експертних суб'єктивних оцінок прийнято таке міркування (постулат): кількість спостерігачів  $m$  може бути як завгодно велике, однак при збільшенні  $m$  відносний якісний склад групи змінюватися не повинен.

Використовується два способи експертних суб'єктивних оцінок – шкалювання та ранжирування. До складу експертних груп повинні входити спостерігачі, які є «споживачами» предметів (або параметрів) житлового середовища, що оцінюються. Наприклад, для оцінки якості світлового середовища адміністративного інтер'єру необхідно залучити службовців, а цеха – робітників відповідних спеціальностей. Експерти з числа споживачів не повинні знати, що «повинно бути» з точки зору існуючих вимог до предмету

(параметру) матеріального середовища, що оцінюється, і, разом з тим, експерт-споживач повинен бути достатньо розвинутим, щоб мати власне міркування про ступінь прийнятності предмету, що оцінюється, для функцій, які виконуються ним (споживачем). До групи експертів необхідно включати спеціалістів-розробників, вивчаючих тенденції розвитку та принципи оптимізації параметрів предметів, що оцінюються. Необхідно включати до експертної групи спеціалістів з предметного середовища «у цілому». До числа таких спеціалістів можуть бути віднесені архітектори й дизайнери. Їх участь необхідна особливо при оцінюванні ознак психоестетичного характеру.

Метод шкали та бальних оцінок. Експериментатор, який робить оцінку за допомогою експертної групи, попередньо складає шкалу бальних оцінок і розроблює опитувальник (анкету), який повинен спрямувати увагу експерта на ознаку, яка оцінюється, і на можливі засоби підходу до вибору балів. Складання питань опитувальника є дослідницьким завданням. Кожний експерт приписує ознаці, що оцінюється, то чи інше число (бал), обираючи ці числа на шкалі, запропонованій експериментатором. Шкали можуть мати різну структуру і число балів. Використовують шкали з центральною нульовою точкою та непарною кількістю балів. При цьому спочатку експерт обирає одну з трьох збільшених оцінок: позитивне, байдуже чи негативне ставлення і на другому етапі уточнює ступінь позитивного або негативного ставлення шляхом приписування одного з трьох балів, які знаходяться у кожній з цих областей. Шкала цього типу може бути 5-бальною. Переваги бального методу: він не потребує еталонів («абсолютний») і може бути використаний для створення еталонів; цей метод максимально наближається до реальних умов взаємодії людини з предметним середовищем, оскільки у повсякденних обставинах практично відсутні випадки, коли є можливість порівнювати та зіставляти різні предмети однакового призначення.

Недоліки бальної схеми: декотра невизначеність критерію оцінки, яка неминуха навіть при наявності дуже докладного та всебічного опитувальника; оскільки бальна оцінка є точною на шкалі порядку, її значення може описувати

тільки рівність реакцій (міркувань) і в принципі не може характеризувати ступені різниці реакцій на одну і ту ж ознаку різних предметів. Метод шкали та бальних оцінок дозволяє надійно відділити предмети, які викликають позитивне ставлення та може бути недостатньо чуттєвим при необхідності більш тонкої класифікації предметів. У цьому випадку доцільно зробити додаткову оцінку предметів методом ранжирування [126].

Бальна оцінка оперує натуральним рядом чисел шкали порядку, відбиваючих з тій або іншої похибкою величину ознаки, яка вивчається (яскравості, насиченості світлом та ін.), у цьому міститься її абсолютність у порівнянні з методом ранжирування. Приписування балів тій чи іншій ознаці є кодуванням зорових відчуттів, і тому величина шкали та невиконання закону транзитивності не оказують великого впливу на оцінку якісних складових освітлювальної установки. Наприклад, досягнення ступеня насиченості приміщення світлом при збільшенні циліндричної освітленості можна охарактеризувати найвищим балом за любою шкалою. Незалежно від абсолютної величини циліндричної освітленості визнання спостерігачем факту насиченості приміщення світлом свідчить про комфортність світлового середовища з точки зору оптимальних умов роботи зорового аналізатора. Тому подальше збільшення цього параметра за умови збереження комфортності, яка відчувається оком, повинно оцінюватися тим же балом. І в тому, і в іншому випадку однакова бальна оцінка буде характеризувати точку «насичення» параметра.

Метод порівняння архітектурних об'єктів за характерними ознаками. У цьому методі експерт проводить порівняння низки предметів за заданою ознакою, розташовуючи їх за ступенем зростання або зменшення цієї ознаки. При даному методі число балів дорівнює числу предметів, що оцінюються. Переваги методу: полегшується завдання вибору критерію оцінки (дійсно, якщо експерт сприймає пред'явлені йому предмети як різні, то це означає, що він помітив і засвоїв ознаку, яка визначає цю різницю); більша чутливість, ніж у методі бальної оцінки.



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Недоліки методу порівняння архітектурних об'єктів за характерними ознаками: обмеженість застосування, оскільки метод ранжирування вимагає практично одночасного пред'явлення експерту декількох оцінюваних за заданою ознакою предметів, що не завжди можна здійснити; відносний характер оцінок (коли ЕГ установила, що предмет 1 «краще» предмета 2, то це ще не означає, що обидва ці предмета викликають позитивне, байдуже або негативне ставлення).

Оцінка достовірності (точності) результатів може проводитися методами математичної статистики. Літературні дані свідчать про те, що для низки світлотехнічних застосувань буде, приблизно, такою:  $m = 7 \div 12$  і  $n = 4$ . Результати залежно від конкретних умов можуть мати різну «вагу» в порівнянні з іншими параметрами світлового середовища, наприклад, у порівнянні з техніко-економічними показниками.

При розробці різних аспектів проблеми світла як важливого елемента навколишнього середовища людини виникають труднощі аргументованого узгодження фізичних і психофізіологічних методів оптимізації параметрів якості світлового середовища. Особливі труднощі створює метрика психологічних і естетичних реакцій, так як вони не можуть вирішуватися на основі інструментальних вимірів. Для цих цілей застосовують імовірнісні методи на основі масових суб'єктивних оцінок якості світлового середовища стосовно до конкретних завдань природного освітлення. Такі дослідження дозволяють отримати кореляційні залежності між світлотехнічними характеристиками (яскравості, кольоровості та ін.) і усередненими реакціями людини психологічного і естетичного характеру. Період, який почався на кінці ХХ століття, характеризується відходом від функціонального трактування проблеми освітленості окремих будівель і міст і поступовим переходом до комплексного вивчення світлового середовища та його впливу на людину. У зв'язку з цим отримують більш широкий розвиток методи комплексної оцінки елементів світлового середовища, методи світлового і колірної моделювання стосовно до вирішення конкретних завдань, з метою накопичення необхідних

дослідних даних для визначення кореляційних залежностей між світлотехнічними характеристиками середовища (яскравість, освітленість, кольоровість та ін.) і усередненими реакціями людини.

Завдання аналізу архітектурних об'єктів розглянуте в методі «Кваліметрія» [126], в якому оцінка якостей проводиться шляхом порівняння певної кількості критеріїв із заданим еталонним або бракувальним критерієм, які з часом можуть змінюватися або взагалі бути відсутніми, якщо подібна якість розглядається вперше. Також з часом можуть виникати додаткові критерії оцінки, що тягнуть за собою зміни в структурі аналізу.

Магістром архітектури, аспірантом КНУБА Бадюл М.Г. був запропонований метод побудови математичної моделі «Математична модель завдання визначення ефективних впливів на об'єкти міського середовища на прикладі спортивно-розважальних споруд для дітей шкільного віку» [128].

У роботі Л.М. Авдотьїна «Застосування обчислювальної техніки та моделювання в архітектурному проектуванні» аналізувалася архітектура міського середовища з використанням обчислювальної техніки [125].

Дані зазначені методи підходять для аналізу і синтезу кількісно виражених критеріїв, а не для суб'єктивних оцінок, що звичайно зустрічаються в архітектурі.

У роботах А.Д. Яблонської розглянуто багатоаспектний підхід до критеріїв аналізу архітектурного середовища. На основі узагальнення методичних підходів до формування комплексу світлових засобів автором удосконалено методи експериментального дослідження сонячного світла в екстер'єрному та в інтер'єрному середовищі сучасних багатоповерхових житлових будинків, в тому числі: метод фотофіксації за впливом природного світла на морфологію архітектурної форми та її емоційно-естетичне сприйняття людиною (це здійснення регулярної у часі на протязі світлового дня і року фото-фіксації фасадів багатоповерхових будинків та будівель громадського призначення, побудова відповідних порівняльних номограм позитивних чинників інсоляції із запровадженням методу ранжування); метод результатів

та оцінок умов світлового середовища для продуктивного здійснення домашньої діяльності, для створення оптимального психологічного настрою та відпочинку (це проведення опитування і анкетування жителів багатоповерхівок, статична обробка результатів і побудова графоаналітичних номограм та графіків дисперсії) [129].

Розроблені методики враховують виявлені тенденції розвитку сучасних функціонально-просторових архітектурних структур і планувальних схем, їх типологічні і композиційні характеристики. Такі методики дослідження набувають належного значення у зв'язку з поширенням в українських містах багатоповерхового житлового будівництва [130].

**SECTION 2. COMPUTER SCIENCE**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4.2.1

**2.1 Nonlinear dynamics in problems of controlling technological complexes**

Modern technological complexes, organizational and technical (technological) systems consist of complexes of subsystems that perform specific functions and are interconnected by complex processes of intensive dynamic interaction and exchange of energy, matter and information. In such complex nonlinear, multidimensional and multiconnected systems, transients occur, critical and chaotic regimes arise. To increase the efficiency of managing complex systems, modern management theory also uses methods of synergetics based on the idea of self-organization [131, 132].

Synergetics is an integrated science that studies the processes of self-organization and covers almost all modern knowledge about phenomena of different nature. The basis of synergetics is nonlinear dynamics and thermodynamics of irreversible processes. The meaning and content of synergetics is that in open systems that exchange energy, matter and information with the external environment, there are processes of spontaneous self-organization (the emergence from the chaos of some ordered structures with new properties). Synergetic systems have fundamental properties:

- obligatory exchange of energy, matter and information with the external environment;
- mandatory interaction, ie the coherence of behavior between the components of the system.

Synergetic systems are characterized by a causal way of self-organization, and cooperative processes are due to internal causes.

The novelty of the synergetic approach to control is the transition from unpredictable behavior of the system by dissipative to directional motion along the desired invariant varieties - attractors, to which other variables of the dynamic system are adapted, ie it is a way of directed self-organization of synthesized systems. In this

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

approach, the goal - the attractor - determines the essence of the process. From the information point of view, this method reflects the process of reception of information, which for dynamic systems means their translation into a certain final state, regardless of the previous one.

The fundamental novelty of the synergetic approach is manifested in the following provisions:

- the purpose of the operation of the synthesized systems is to achieve the target attractors - asymptotic boundaries in their space of states that reflect the desired technological modes of the systems;
- target attractors and invariant varieties reflect the physical essence of natural processes in the system, they are formed on the basis of the desired technological invariants;
- Introduction into the procedure of synthesis of invariant varieties allows to build a regular mechanism of analytical generation of natural sensitivity of positive and negative nonlinear feedback, which form the processes of directed self-organization in synthesized systems.

The main requirement for the synthesized nonlinear system is not the stability and quality of transients, but the provision of the desired asymptotic behavior of the system on the attractor. The behavior of any dissipative nonlinear system is divided into stages:

- transient motion, when the trajectory goes to the attractor;
- asymptotic motion on the desired attractor, which is the target of the system.

Therefore, the purpose of the synthesized system is to achieve the corresponding desired attractor, i.e. the asymptotic stability of the final state. The dimension of the attractor is usually significantly smaller than the dimension of the phase space of the system. This is the ideology of information processing and control processes in complex nonlinear dynamic systems. These processes include two phases: the expansion phase and the compression phase [133].

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

These phases are realized by a set of nonlinear positive and negative connections. In the expansion phase, a subset of system behavior alternatives for interaction with the external environment and other systems is formed. In the compression phase, the system narrows the area of attraction of the attractors, which were defined earlier, to one of the desired attractors - the purpose of the system.

Synergetic methods for the synthesis of the control system of complex objects are largely able to overcome the difficulties associated with the famous triad "nonlinearity - multidimensionality - multiconnection."

Modern management theory has successfully mastered the methods of rough external influence on various technical objects, however, the problems of energy saving and resource-saving technologies require a revision of power approaches in management and the transition to the ideas of self-organization, synergy. Hence the need to create ways of formation and violation internal forces of interaction, which could generate in the phase space of systems stable dissipative structures, adequate to the physical (chemical, biological) essence of the system.

Recent results of general development theory, and in particular synergetics, give hope that management theory, like other sciences, is able to follow the path of naturalness in order to move to new conceptual foundations. In this regard, it seems quite promising for the development of modern theory of automatic control to make attempts to transfer the basic properties of synergetic systems to the created control systems for nonlinear dynamic objects. For such a transfer it is necessary to identify the distinctive properties of synergetics, which are fundamentally important for the formation of the foundations of synergetic control theory.

Processes of self-organization in systems of different nature have distinctive features, in particular, given in [134, 135].

- movement the system must flow in a nonlinear region of its space;
- openness (opening) a system equivalent to the exchange of energy or matter (and possibly information) with the external environment;

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- cooperation, coherence processes that occur in the system;
- the presence of a nonequilibrium thermodynamic situation, according to which the inflow of energy in the system should be sufficient not only to compensate for the growth of entropy, but also to reduce it, which strengthens the order in the system.

There are four main features self-organization show that synergetics deals with nonclassical processes and phenomena of physics, including control theory.

To apply the methods of synergetics in control theory, it is necessary to satisfy these four features of self-organization. Of these, the second is conceptually paramount, ie the openness of the system, without which it is impossible to provide other features. In this regard, an important question arises as to what type of automatic control systems should be attributed: to isolated or open systems. Answering this question, we can say that according to the standard control problem, the system is described by differential equations of the object, which include some external forces consisting of the desired controls  $u(t)$ , which ask  $q(t)$  and (possibly) disturbing influences  $M(t)$ . The object under the action of these forces can make the corresponding movement. However, this formulation of the control problem is not enough for the phenomenon of self-organization. In order to move from the described system of "object-external forces" to the equations of self-organization, it is necessary to exclude these forces accordingly. To do this, apparently, it is necessary to expand the original equations of the system "object-external forces" so that the external forces included in the equation of the system were internal to it [136]. Then for the new extended system its equations can become equations of self-organization, ie as a result of the specified expansion it is possible to pass from the organization of system to its self-organization.

It is this kind of expansion, in fact, and occurs with the appropriate formulation of the problem of synthesis of control systems, which is to determine the laws of management  $u(t)$  as a function of the coordinates of the system state. These laws, which are the equations of the regulator, must provide the desired dynamic properties

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

of a closed system "object-law of control (regulator)". Then, in relation to the new, extended system ("object-regulator"), it is advisable to apply the relations that characterize the processes of self-organization in accordance with the above features. In other words, the output system, consisting of some dynamic object and external forces acting on it, as a result short circuits direct and reverse connections will turn into a new one, advanced system. In this case, the initial influences, which were external forces in relation to the original object, will be the internal forces of the extended system. Such a system is indeed open and energy, matter or information from relevant sources will flow through it. Carriers of energy, matter or information and will be synthesized control.

Therefore, to apply a synergetic approach based on cooperative processes of self-organization, in control problems it is necessary to move from the original control problem, which includes the equation of the object and external forces (in the form of control, setting, or perturbing influences), to extended formulation of the problem so that these forces became internal interactions of the general (closed) system [137].

Traditional models of process control and traditional analytical methods of analysis of efficiency indicators and forecasting more and more often encounter problems that do not have an effective solution within the known solutions. Traditional approaches that have become classical have been developed to describe stable and not radically variable processes - which do not deviate much from the state of equilibrium. In essence, these methods and approaches were not intended to describe and model rapid changes, unforeseen leaps and complex interactions of individual components of the technological process [137, 138].

The changes that occur at the defecosaturation station are so intense, and their quality indicators are so unexpected that for the analysis and prediction of the initial parameters, ie the quality of diffusion juice purification, the synthesis of new analytical and computational approaches originating in various fields of human knowledge. , has become an urgent practical necessity. It is necessary to study the dynamic processes occurring in irreversible multicomponent interactive adaptive systems, to consider the



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

causes and mechanisms of new modes and structures, to study the characteristic scales and speeds of transients and constants, to anticipate probable system changes to manage unexpected cardinal changes in dynamic mode. arising in complex systems. In the theory of complex systems are investigated, mainly nonlinear feedback systems, when information from the output of the system is fed to the input and becomes the next set of input data. The technological process of defecosaturation can be attributed to such systems. Recent years have been marked by increased interest in finding nonlinear models that could adequately reproduce complex patterns of dynamic processes, as it has become clear that a linear approach to the analysis of initial parameters does not allow to model highly irregular behavior characteristic of most technological systems. There are several competing approaches that use the idea of nonlinearity. Traditional models are stochastic. However, the limitations used in the construction of the model in order to make it suitable for practical use, in fact, destroy the internal "complexity",

In this regard, an alternative approach to the analysis of nonlinearities has been intensively developed recently, namely an approach based on the theory of deterministic chaos, which offers an explanation for irregular behavior and anomalies in systems that are not stochastic in nature. Chaos theory offers completely new concepts and algorithms for the analysis of time series, which can lead to a deeper and fuller understanding of the processes they reflect.

Modern methods of analysis are based on the search for models of nonlinear behavior of time series. This is because nonlinear models can capture very complex patterns in time series [138].

A time series is usually a sequence of events observed at some generally equal time intervals. In relation to the technology of purification of diffusion juice, this parameter can be the pH value, dry matter concentration, consumption of purified juice.

The main idea of applying the methods of chaotic dynamics to the analysis of time series is that the basic structure of a chaotic system containing all the information about

the system, namely the attractor of a dynamic system (a subset of phase space that attracts trajectories in infinite time), can be restored through the measurement of only one observed characteristic of this dynamic system, fixed as a time series. According to the method of Grasberger and Procacci, the procedure of reconstruction of the phase space and restoration of the chaotic attractor of the system in the dynamic analysis of the time series is reduced to the construction of the so-called phase space.

The main idea of applying the methods of chaotic dynamics to the analysis of time series is as follows. It turns out [139] that the basic structure of a chaotic system, which contains all the information about the system, namely, its attractor (a subset of phase space that attracts trajectories within infinite time), can be restored by measuring only one observed parameter of this dynamic system, fixed as a time series.

Deterministic dynamical systems describe the evolution of a system over time in some phase space

$$\Gamma \subset R^d \tag{1}$$

These systems can be generated, for example, by ordinary differential equations

$$\dot{x} = F(x(t)) \tag{2}$$

According to the method of Grasberger and Procacci [138,139], the procedure of reconstruction of phase space and restoration of chaotic attractor of the system in dynamic time series analysis is reduced to construction of so-called lag or restored space using the method of delays. Vectors in the new space, attachment space, formed from the values of the time series of scalar measurements with time delay:

$$\bar{S}_n = (S_{n-(m-1)\tau}, S_{n-(m-2)\tau}, \dots, S_n) \tag{3}$$

The number of elements  $m$  is called the dimension of the attachment, the time  $\tau$  is usually called the delay or lag. The theorems of Tuckens [139] and Sawyer [140] show

that if the sequence  $\{S_n\}$  actually consists of scalar measurements of the structure of a dynamical system, then, under certain assumptions, such a reconstruction of the phase portrait is an exact picture of the real set  $\{x\}$ , if,  $m$  quite large. Or, in other words, the real attractor of a dynamic system and the "attractor" restored in the lag space in time series according to the above rule (pseudo-attractor), with adequate selection of the dimension of the embedding  $m$ , are topologically equivalent.

One of the tests used in practice to verify the presence of a chaotic component in the studied series of financial data is to study the properties of the correlation sum  $C_m(r)$  and the behavior of the correlation dimension  $D_m(r)$  depending on the dimension of the investment  $m$ . The correlation sum  $C_m(r)$  is the probability that the pairs of points on the reconstructed attractor in the  $m$ -dimensional lag space are within the distance  $r$  from each other. If the graph of the function  $\ln C_m(r)$  with respect to  $\ln r$  has a clearly defined linear section, this indicates the existence of a self-similar geometry of the attractor, which, in turn, indicates the chaotic nature of the process.

In the case of stylized data, when we know the dimension  $n$  of the phase space of the dynamical system and all  $n$  coordinates of each point on the attractor, the correlation dimension  $D_2$  of the attractor is found as follows: we consider the correlation integral  $C(r)$  showing the relative number of pairs of attractor points at a distance not greater than  $r$ :

$$C(r) = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=i+1}^{m-1} \theta(r - p(x_i, x_j)) \quad (4)$$

where  $\theta$  is the Heaviside function,  $p$  is the distance in the  $n$ -dimensional phase space,  $m$  is the number of points  $x_i$  on the attractor. On rather small scales of lengths and when the dimension of embedding  $m$  is not less than the topological dimension of the attractor, the dependence is fulfilled:

$$C(r) \rightarrow r^{D_2} \quad (5)$$

where  $D_2$  is the desired correlation dimension of the attractor. Prologarithmizing equation (5):

$$\ln C(r) \rightarrow D_2 \ln r \quad (6)$$

Expression (6) gives the desired estimate of the dimension of the attractor as a tangent of the angle of inclination of the line, which approximates the graph of the correlation integral  $C(r)$  on a double logarithmic scale.

The Hearst index is calculated using the Rescaled Range ( $R/S$ ) Analysis method. The main purpose of calculating the Hearst index is to determine the long-term correlation in the time series, and to identify its fractal structure. In addition, we note that with the help of  $R/S$ -analysis it is possible to detect existing statistical cycles in the dynamics of the system [140].

In accordance with the value of the Hirst index  $H$ , all time series can be classified into three types [141]:

- antipersistent time series ( $0 < H < 0.5$ );
- random time series ( $H = 0.5$ );
- persistent time series ( $0.5 < H < 1$ ).

Studies of the values of the Hirst index were conducted in a software environment – Fractan (Fig. 1,2).

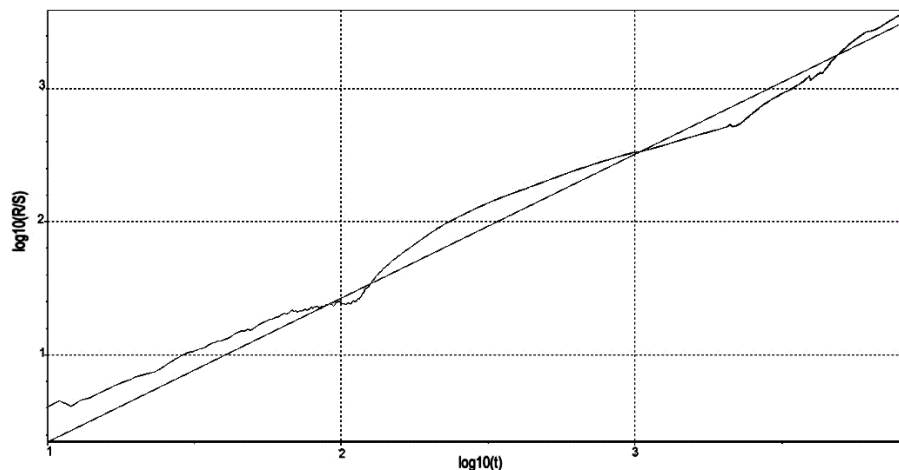


Figure1. R / S - analysis of the studied pH data.

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

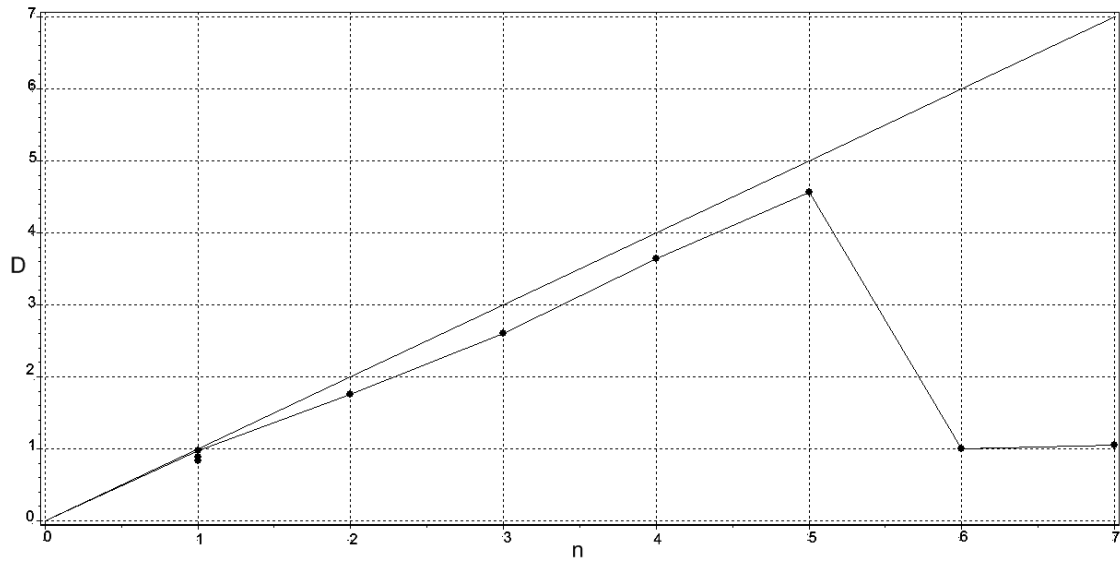


Figure 2. Dependence of correlation dimension on dimension attachments for a number of pH values.

The results of the study R / S - data analysis are given in table1.

Table 1.

Hirst index, for pH

| Working hours | Hirst index, $H$ | Fractal dimension, $D$ |
|---------------|------------------|------------------------|
| 1             | 2                | 3                      |
| 1             | 1.0775           | 0.9225                 |
| 2             | 0.7435           | 1.2565                 |
| 3             | 0.6403           | 1.3597                 |
| 4             | 1.0639           | 0.9361                 |
| 5             | 0.6802           | 1.3198                 |
| 6             | 0.6397           | 1.3603                 |
| 7             | 0.610            | 1.3990                 |
| 8             | 1.0647           | 0.9353                 |
| 9             | 0.8445           | 1.1555                 |
| 10            | 1.1641           | 0.8359                 |

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Based on the results obtained, we can conclude that the nature of the processes that take place at the defecosaturation station is mainly persistent ( $0.5 < H < 1$ ).

For the purpose of quantitative analysis, time series research was conducted, fractal characteristics of chaotic information flows were determined by calculating the correlation dimension and determining the Hearst index.

## **2.2 Monitoring methods of technological processes in control systems**

The analysis of the main trends of modern complex engineering systems shows that these systems have a number of features, among which are identified: multidimensional and the uncertainty of their behavior, hierarchy, structural similarity and redundancy basic elements and subsystems connections between them, multivariate implement the functions control at each level of these systems , territorial distributivity of the components.

Existing and projected complex technical objects (CTO) as elements of control systems are usually complex controlled object, information on functional status are transmitted as the current values of the corresponding measurement information management system. Increased complexity of objects requires a substantial increase in the number of controlled parameters that characterize the process of its operation.

Time delays and errors in management caused by wrong resolve the problem of evaluating or monitoring the condition of complex technical objects can lead to irreversible negative effects - stalling perform their tasks failures. Great extent, this problem is exacerbated in case of emergencies - a deviation from the expected behavior of stations caused by various external factors and internal processes. In most cases, the procedures for monitoring the status of objects in such situations are not automated. The solution to this problem relies on operators. Management practices in a variety of complex objects of shows that in these situations, operators cannot cope with the task of evaluating and monitoring stations functional states, which leads to a variety of negative consequences.

The problem of control stations is much more complicated in case of so-called distressed situations. Surgical management of complex objects involves immediate dispatching personnel management system that is ergodic (human-machine) systems. Human interventions in such control systems are particularly relevant in case of problem situations. Problem situation - a situation in which there is a sharp contradiction between the planned and actual operation against facility management

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

and operator (management) has no information about what to do to eliminate contradictions. We understand the background to the situation or object as its current state (situation) and the prediction of future behavior object.

To ensure the required level of efficiency of technological monitoring , there is no such technology Evaluation of complex technical objects , which would from a single methodological approach to ground and form a unified set of software and algorithmic processing tools and analysis used in the monitoring of measuring data and synthesize the automated execution system means of monitoring the state - for specific application conditions using invariant models of the processes taking place in the objects , which in turn is due to the absence so far of experience creating and operating large-scale uniform appropriate software. For these vehicles do not address problems of distributed computing as part of the monitoring system, a system of mathematical models adequately controlled processes and phenomena, and focused on their implementation in the existing software and hardware environment. Furthermore, no single technology is developing software to solve specific problems monitoring is not resolved a number of other related issues. All this allows achieving acceptable performance monitoring system operation, and thus the success of all management functions CTO. One of the main features of modern complex technical systems is that their structure and parameters at different stages of the life cycle of change under the influence of objective and subjective reasons. In these circumstances, to increase (store) level of performance and capabilities necessary to manage their agencies (including reconfiguration control structures). Thus the running structural dynamics are understood process of formation and implementation of control actions, providing a transition from the current control systems at the right (synthesized) multifactorial macrostate. Such problems can be successfully solved using intelligent mechanisms used by the operator or involved in the program-technical complex system administration. Intelligent service based on its operational thinking, its ability to display, set by thinking the problem situation. It is necessary to present it in the form of certain elements trigger images of these items and based on them to create a plan for future action by management. If management actions clearly come out of the situation



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

and the need for such action strictly defined program of action, regardless of the complexity of such activities include service to the jet. The difference between the reactions and intellectual processes is the quality of decisions and the basis of decisions made in intelligent action of the operator is its thought patterns. Model thinking has all the information about the data describing the stations, the tool by which converted the data and information about a logical sequence of process management. For targeted treatment of this information model uses inductive thinking and deductive mechanisms. Inductive mechanisms of thinking - a learning and adaptation. Information for these mechanisms has knowledge about objects and object control region, which documented and can be transmitted from person to person during training. Deductive thinking mechanism - a process of analysis and classification management, planning, choice and decision making, diagnosis, and so on. Information for deductive thinking is the mechanism status information against facility management that operators receive from the means of information.

At this time, there are various options controls the structural dynamics of the of control systems. Among them are, first of all: changing the ways objectives of the operation , their content, sequence of different conditions; movement in space of individual elements and subsystems of control system; redistribution and decentralization of functions, tasks, control algorithms , information flow between levels of control systems; the flexible (abbreviated ) technology management; reconfiguration of structures.

Solving the problem of managing the structural dynamics research suggests the following classes of problems : the problem of analyzing structural dynamics of control systems problem assessment (observation) structural conditions and structural dynamics of control systems synthesis problem of optimal control technologies and applications in structural dynamics under different conditions (including problems of synthesis technology monitoring states and its major elements of control systems - complex technical objects).

Control problems in structural dynamics of its contents belong to the class of problems in structural and functional synthesis of form of control systems and the

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

formation of the control programs of development. The main feature of the difficulties and solve the problems of this class is as follows. Determination of optimal control programs basic elements and subsystems of control systems can be performed only after we know list of functions and algorithms for data processing and management, which should be implemented in these elements and subsystems. In turn, the division of functions and algorithms but of control systems elements and subsystems depends on the structure and parameters of the laws of the control data elements and subsystems. The difficulty of solving this controversial situation is exacerbated by the fact that the impact of different reasons over time changes the composition and structure of control systems at different stages of its life cycle. In addition, management processes implemented structural dynamics of control systems usually essentially insurmountable in terms of information and time constraints associated with incompleteness, uncertainty, imprecision and inconsistency as the source data and the information that comes (formed) during operation the systems. To date, the class of problems considered structural and functional development of the synthesis and control of control systems investigated deeply enough. These new scientific and practical results within the following areas of research [142]:

- Synthesis of technological structure of control systems under certain laws of functioning of major elements and sub- control systems (1st line of research);

- Synthesis of functional structure of control systems or, in other words, the synthesis of control programs and basic elements of subsystems with known technical structure of control systems (2nd line of research);

- Synthesis software creation and development of new generations of control systems without phase joint functioning of the current of control systems and of control systems implemented (3rd line of research);

- Simultaneous synthesis multifactorial of control systems at different stages of their life cycle (4th line of research).

In modern terms is quite urgent to develop the theory of structural dynamics of control systems that enables a unified approach to management positions multistructured synthesis solutions to of control systems at different stages of their life

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

cycle. This theory should be formed within the interdisciplinary field of scientific knowledge and based on the results obtained so far in the classical control theory in operations research in artificial intelligence in systems theory and systems analysis. The last two research areas will continue to make the transition from slightly structured correctly structured setting to control problems structural dynamics of control systems.

The most important feature of the scientific and technological revolution is happening at this time is that as its development is becoming increasingly important consideration in the complexity of factors currently existing and emerging technical and complex systems [143,144]. In this case received widespread view that the central concept around which focuses " movement system " in modern science is the concept of a complex system. So before you move on to directly address the problem of managing the structural dynamics of complex technical objects and systems, briefly discuss the interpretation of terms and definitions that will be needed in the future.

The main functions of technological monitoring subsystem and it`s structure (fig.1) were developed based on the analysis of technological monitoring problems. This subsystem provides a comprehensive treatment of the input - output information, identifying patterns, analysis of work situations and technological forecasting.

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

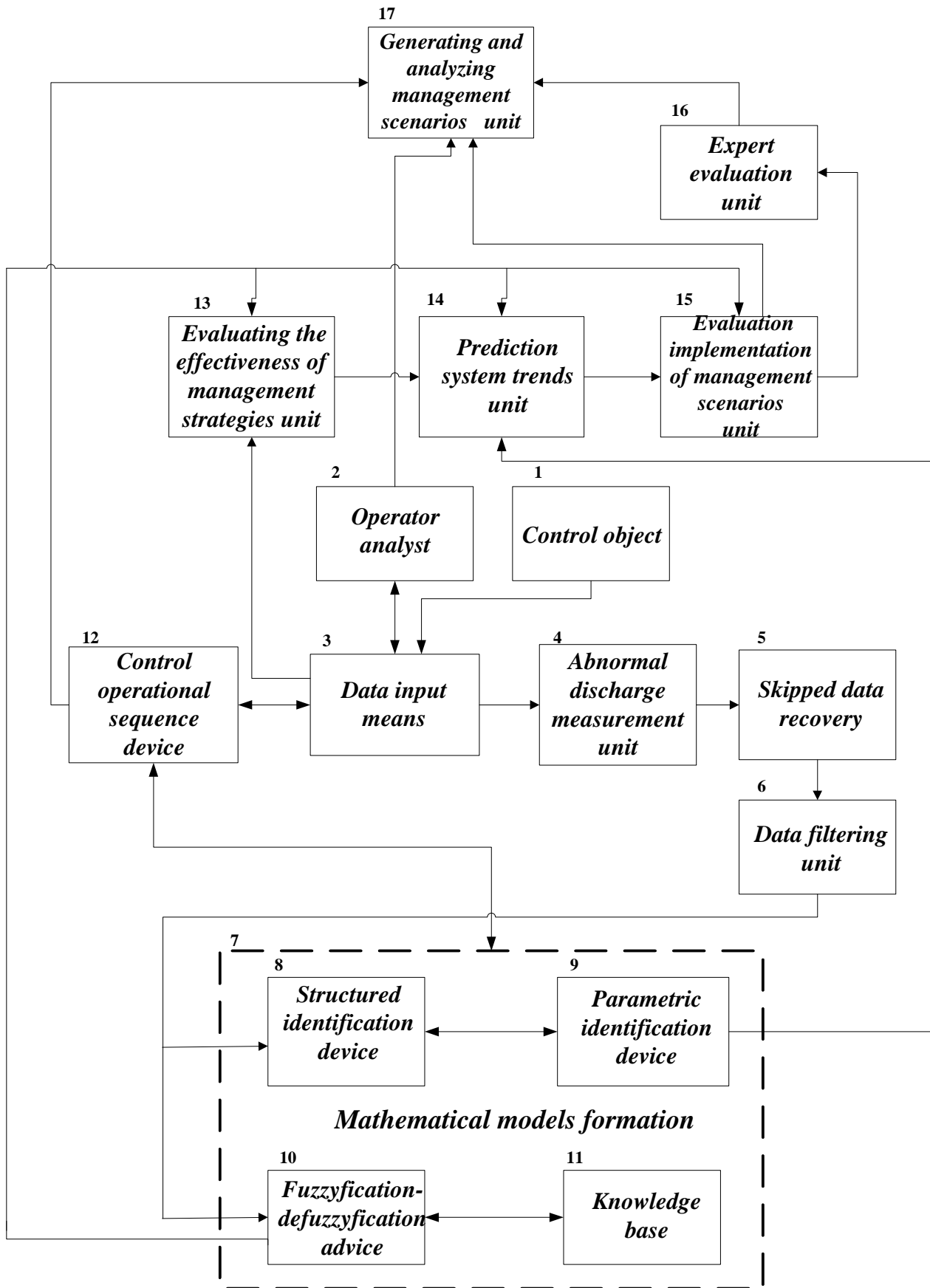


Figure1. Block diagram of the technological monitoring subsystem.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

For efficient process control as part of computer- integrated systems proposed structure allows devices using structural and parametric identification of diverse mathematical models developed for the purposes of prediction and control.

To evaluate the decisions made by management and their implementation on-site management unit is used for evaluating the effectiveness of strategies control that allows together with the block forecasting system to estimate trends in results of operation of process control and establish preventive measures to correct deviations in the generated script control , defined in the block assessment and implementation scenarios.

Figure1 shows a block diagram of information- analytical system. Under this scheme information system process monitoring complex organizational and technical system includes control object 1, data input means 3 having feedback from the workplace 2 operators analyst and connected in series to the 4 abnormal discharge measurement unit 5 skipped data recovery , data filtering unit 6 , which is connected to the block 7 the formation of mathematical models, which in turn contains a structural identification device 8 and 9 parameter identification device, fuzzification - defuzzification device 10 having feedback knowledge base of 11; block 7 of forming mathematical models on the one hand connected to the control operational sequence device 12, and on the other - with the unit 13 for evaluating the effectiveness of management strategies , prediction system trends unit 14, and block 15 reviews implementation of management scenarios from which the information is sent to the block 16 expert evaluation, and the block 17 for generating and analyzing scenarios of management.

This structure of the system works as follows: inputs from the control object 1 are introduced as a means of data input through 3, and from the workplace 2 operator analyst. Unit 4 is carried out allocation and elimination of abnormal measurements in the input data, and restores the unit 5 spaces available. In block 6 is carried filtering data supplied to unit 7 of forming mathematical models. In this block using devices 8 and 9 structural and parametric identification, respectively, and the device 10 defuzzification phasing - developed mathematical and logical- linguistic intelligence

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

model, which is the basis of knowledge bases 11. Upon this information goes to block 13 for evaluating the effectiveness of management strategies, unit 14 predict system trends, and block 15 reviews implementation management scenarios to assess the performance of the generated script control. Simultaneously, the information is exchanged with the block 7 the formation of mathematical models and control device 12, the sequence of operations that sends data to the block 17 for generating and analyzing scenarios of control. In addition, in the same block of data is transferred from block 16 expert assessments required for the formation of alternative scenarios.

Efficiency of complex production facilities can be greatly enhanced through the use of scripts governance, which is a system of models that reflect the processes of change over time and the conditions of phase coordinates of the object, discrete fixing the fundamental terms of managing transitions to a new qualitative state.

Given multipurpose management technological complex scenarios, provides a variety of situations in facilities management, depending on the priority objectives such as conflict and so on. The basis of the scenario is situationally significant events and relationships between them are determined taking into account the detailed description and transition management processes, such as attractor's behavior. Decision management scenarios for decision on the basis of dynamic analysis of situations, which is held subsystem process monitoring management system. Monitoring technology allows on the basis of current information on the state of the control object, and the task of the operator to analyze the quantitative and qualitative characteristics of the behavior of the object and prepare the necessary data for the organization of management strategies; decisions on management [145].

In order to see the changes in the objects, there is a need for special studies changes of processes influenced by various factors, including human activities.

It should be noted that the system for monitoring changes in facilities management is not some kind of a new system that requires networking new monitoring stations, power lines and telecommunications, data centers and etc. It is a component of the system of complex technological systems.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Thus, the process of monitoring system to ensure functioning of the management of complex technological systems can identify changes brought about as a result of the operation of the process that require detailed information about the different variations and changes in the environment. Monitoring involves obtaining (or presence) of such information.

Monitoring includes the following main activities:

1. Observations on the factors that affect the environment and the state of the process.
2. Assessment of the actual state of the process.
3. Prognosis of the state of the process and evaluation of the condition.

So technology is a multi-monitor information system. Its main task - to monitor the state of the object, evaluation and prognosis of his condition; determine the intensity of various actions, identifying factors and sources of influence.

Blocks "observation" and "condition prognosis" closely related, as the weather condition of the object is only possible in the presence of representative information on the actual status (direct link). The prognosis on the one hand, implies knowledge of the laws of change of the natural environment, the availability of the scheme and opportunities numerical calculation, the second - direction prediction should largely determine the structure and composition of the observed (feedback).

Information - measuring systems as an information system for monitoring processes, is a component of the control of human interaction with the environment, because information about the current state and trends of the process of change should be the basis for developing measures for decision-making and taken into account when planning of the object. Results of the assessment of existing and projected state of the object, in turn, make it possible to determine the requirements for the subsystem observations (this is what is scientific justification for the monitoring study of the composition and structure of the network and methods of observation).

The data describing the state of the process obtained by observation or prediction should be evaluated depending on the industry in which they are applied (using specially selected criteria). Evaluation aims on the one hand - definition of damage

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

from the impact of various factors on the other - the choice of optimal conditions for and clarify existing provisions. The purpose of these assessments is to determine the allowable loads for the manufacturing process.

It is also an opportunity to consider the impact of external factors on the sensor readings, leading to a distorted representation of the state of the object.

The use of network of diverse sensors makes creating a complex system of data collection, processing and analysis of data should:

- To welcome and formatting sensor signals;
- Generate a vector of characteristics of an object using vector sensors. In order to eliminate redundancy vector performance is optimized;
- To keep the history of the object (data collected for the entire period of observation the object) as "images" (frames) of the current state for several seasons working ethanol plant using a compact data representation techniques, while maintaining the possibility of retrospective analysis.
- "Learn" to recognize the features of normal behavior (change state) of the object and abnormal changes. The process of "learning" should include the natural life cycle of the object associated with changes in external factors (temperature, humidity, etc.) And modes of operation. Study and analysis of changes - two parallel interconnected processes. Initially, the operation of the inevitable false alarms;
- Analyze changes to the localization of abnormalities and assess their significance.

For the classification is necessary to create and maintain knowledge base, taking into account operating experience of similar objects, the results of simulation, expert opinion, and others.

Given the feasibility of the lower stations of ACS DRF, task is to build a top level - of intellectual analysis, monitoring and control .From lower-level process control system, namely of SCADA - system information , by OPC - collectors coming to the top level - the level of a single archive Historian, where the current backup of the database. These laboratory tests come in. zipping through laboratory workstations brokered File collectors.



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The only interface that allows for the information to third-party programs on the environment - Archive Historian, is its integrated subsystem Excel Add in, this interface allows you to play at the level of information tables Excel, and then through Excel to transfer to the upper level - smart automated management DRF.

Subsystem process monitoring is realized by integration environment MVTM [146] and developed software in C # environment. In turn, transmits the processed data to the level of production analysis MES level - the level control of production. Processed information through programmatic interfaces of Excel Add in arriving at the level of SCADA – system (fig.2).

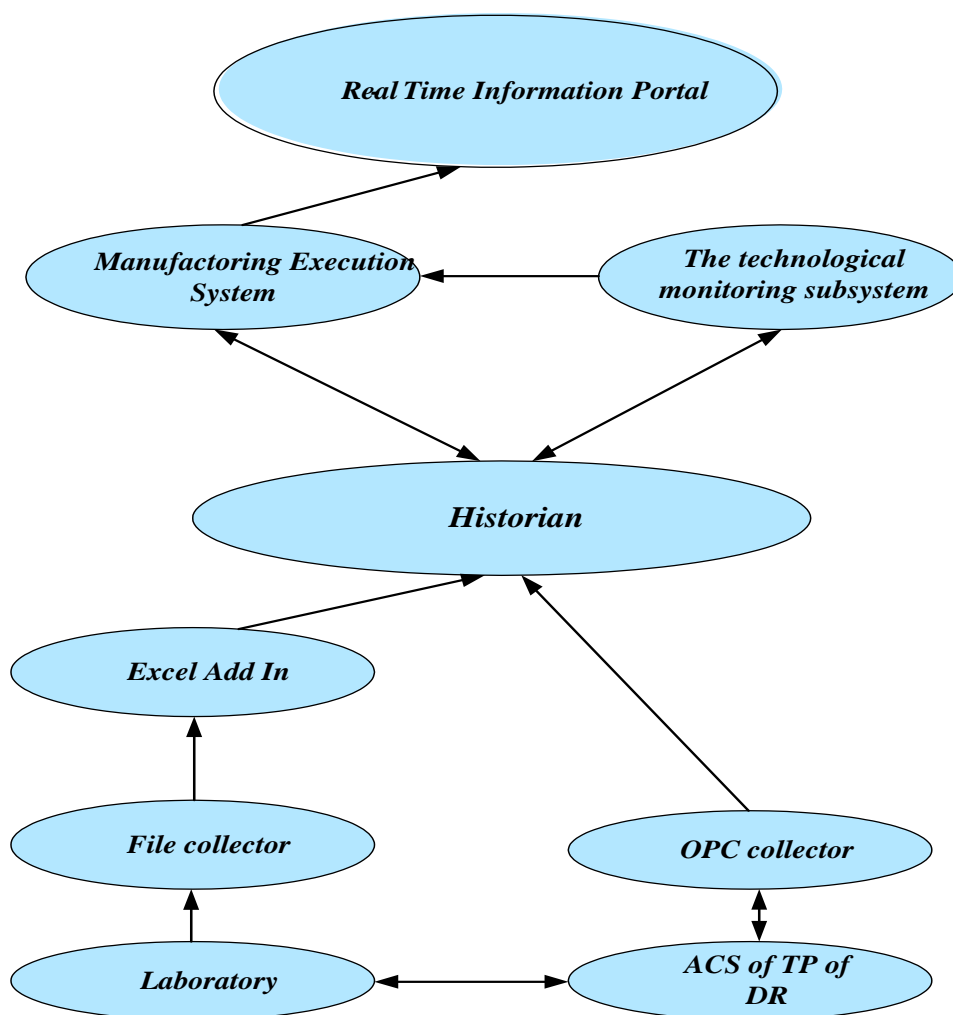


Figure 2. The integration of monitoring subsystem in the information vertical of alcohol production.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

To one of the most important phases of management activities related decision-making, which largely determines its effectiveness. Solutions for process control alcohol production are carried out at three levels of organizational management: strategic, tactical and operational, each of which is characterized by its list of issues and problems. FAQ information and technical support of the above multidimensional and multivariate solutions is becoming more urgent.

### **2.3 Multichannel networks with periodic external load**

Mass-media networks are an effective means of analytical modeling of information and computer networks, cellular networks, economic models (logistics, insurance, etc.), especially at the stage of their design, when it is necessary to obtain estimates of the main parameters of the network. Stochastic networks can be considered as a set of interconnected functioning nodes, each of which provides a certain service. The requirement for entering the network can be considered as a set of tasks that must be performed by components of the network in a certain order. When a requirement needs to be serviced at some node, it may be busy serving other requirements. In this case, it may take a certain place in the queue to this serving node, either interrupt the service request received earlier, or get a refusal. All these moments should be formalized.

Thanks to the theory of mass service, it is possible to model components (computers, data storage devices, routers, switches, modems), from which the real network, the parameters of which need to be evaluated, is composed. The user needs to know how to behave on the network under certain operating conditions. Detailed calculations are all the more necessary for special purpose systems, unique systems and networks.

In connection with the emergence of computer networks and the rapid introduction of data transmission networks, the scope of the theory of mass service has expanded considerably. First of all, its apparatus is used at all levels of organization of network structures in designing their topology, in developing protocols, in choosing switching methods and routing algorithms, in managing flows. The widespread application of the apparatus of the theory of mass service (TMS) is due to the simplicity and naturalness of modeling with the help of real networks and processes for processing them requirements.

Most authors, investigating the system of mass maintenance, put forward the condition that their parameters do not change over time ([148], [149], [151]). However,

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

for many technical systems (elements of computer networks, computing systems, communication networks) this assumption is not always fulfilled. For example, as a result of the failure of one of the network elements, the intensity of the input stream may decrease as the requirements for this element are temporarily not generated. Parameters of requirements streams in real networks may experience changes over time for the following reasons:

- non-stationary incoming traffic to the network ([148], [150];
- changing route requirements that cause new or extinct existent threads at the network node's input (4)];
- failure or blocking of individual elements of the network, resulting in a decrease in the requirements flow on the input of other network components ([151]).

In addition, the functioning of the nodes of local computer networks, as well as the nodes of global computer networks of the type "Internet" (provider communication nodes, web servers, transmission stations, etc.) is described by mass service systems with the parameters that change at random moments of time ([152], [153]).

The inbound flow of requirements is usually Poisson due to the fact that it has the properties of regularity and the absence of aftereffects: the requirements are received for service one and the number of requirements received in one interval of time does not depend on the number of requirements for another period of time. The non-stationary flow is due to the fact that the flow rate may vary with time, which, for example, is typical for mobile networks throughout the day.

The main complexity of the analysis of mass-servicing systems in non-stationary mode, when the parameters of the SMO are time-dependent functions, consists of solving, as a rule, an infinite system of differential equations with variable coefficients.

Analysis of mass service systems with parameters that are functions of time develops mainly in two directions. One of them is a theoretical study of random processes in SMO and the development of numerical methods for calculating service characteristics. Appropriate methods for analyzing mass service systems with parameters that are time functions are also being developed. Often, heuristic assumptions are made.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Real network elements of communication systems are non-stationary objects. Their non-stationarity is conditioned, in particular, by changes in the load, the movement of network subscribers, failures and network components restoration, configuration changes, etc. The lack of adequate, if possible, simple, apparatus for research of non-stationary networks leads to the fact that networks are calculated on the maximum (peak) load.

Research of systems and networks of mass service with time-varying parameters is a complex mathematical task. So far, there are no universal methods (both approximate and numeric) that can be used to calculate the characteristics of systems and mass-servicing networks with variable parameters. So there is a need to develop such methods for at least certain classes of systems.

The proposed work is devoted to the study of multi-channel mass-servicing networks with a Poisson input stream (the only one for the whole network or autonomous for each node), the intensity of which depends on the time, and the different type of time distribution service requirements in the nodes. In particular, networks with periodic input flow are considered. The most common models are networks in which demand service time has an arbitrary distribution function.

The main problems considered are related to the approximation of some random processes describing the process of servicing the network, with the help of others - simpler and better investigated. This gives you the opportunity to count network quality functionality and solve relevant optimization tasks.

The obtained results allow to effectively solve problems of modeling, research and optimization of various classes of complex systems such as mobile communication networks, distributed computer networks, motor transport streams, call centers.

**Markovian and non-Markovian models of stochastic networks.** Mass service is a finite set of nodes - systems of service, among which circulating requirements, passing between nodes in accordance with the routing matrix.

When considering networks and mass service systems, their structure and algorithm of operation are specified, and the function of time interval distribution between successive delivery requirements, service time distribution function, number

of serving devices, and the length of the maximum possible queue is specified. For networks, the number of service nodes is additionally indicated. In the theory of mass service, the Kendall symbolism is used to denote the SMO:  $A/B/L/N$ , where  $A$  and  $B$  determine the types of distribution functions for the input flow of requirements and service time,  $L$  – number of servicing devices,  $N$  – number of waiting places. Instead of  $A$  and  $B$ , you can insert characters from such a set:  $\{M, E_r, HR, D, G\}$ , where  $M$  means an exponential distribution (Markovian),  $E_r$  – Erlang distribution of order  $r$  (Erlangian),  $HR$  – hyper-exponential distribution of order  $R$ ,  $D$  – degenerate distribution (Deterministic),  $G$  – distribution of the general type (General).

Under the network of service in the network understand the system of mass service, consisting of  $L$  ( $0 < L \leq \infty$ ) the same service and buffer (queue) volume  $N$  ( $0 \leq N \leq \infty$ ). At  $L=1$  the node is called single-line (single-channel), with  $L = \infty$  – multichannel.

For those requirements that have completed the service in  $i$  - so the nodes are asked the probabilities of transitions to other nodes and the probability of leaving the network. Probabilities of transitions between nodes form a matrix of routing.

The external flow of requirements entering the network is determined by the coherent distribution of random variables, which are sequential intervals between the moments of receipt of claims. If these random variables are independent in aggregate, then such a stream is called a stream with a limited aftereffect, and for its definition it is sufficient to specify a set of distribution functions, where  $\tau_k$  – the time interval between receipt  $(k-1)$  and  $k$  - requirements. An important role in the theory of systems and mass maintenance networks is played by the recurrence stream, for which the Poisson flow is a special case of a recurrent stream  $x \geq 0$ , where is the flow rate.

In the theory of stochastic systems and networks, it is often assumed that the service time at the nodes of the network is exponentially distributed. This is due to the fact that requirements are processed at a constant rate, and the length of the requirement is a random variable distributed according to the index law. At the same time, most models are based on time-consuming process requirements and distribution of service

time. However, in practice, there are real cases where the intensity of the input stream depends on time. This aspect encourages the use of heterogeneous time-based processes for modeling real networks. Natural is the assumption of the periodic dependence of the intensity of the input flow from time to period of one day, week or month. Such models are much less explored than networks and systems with sustained-intensity flows. Some of the results can be found in the works [149], [155], [157].

D. Hayman and W. Witt [151] reviewed the system  $M_t | M | c$  and showed that, given the periodicity of the input stream, the process that describes the length of the queue is asymptotically periodic. The authors also obtained results regarding the strong asymptotic stability of the process describing the system. They set the ratio between the average number of requirements and the average time required by the system.

L. Brouwer ([150], [154]) studied the type of SMO  $BMAP | M_t | c$  (batch Markovian arrival processes), the input of which receives a periodic BMAP flow, the service time is distributed exponentially, and the intensity of service varies in time from time to time. Conditions of stability are proved in terms of intensities of receipt and maintenance. Special class is selected  $BMAP | M_t | c$  - systems, in which it is possible to simplify calculations to the level of homogeneous SMOs.

The SMO with one maintenance device and the periodic intensity of service is studied in the monograph by M. van Eenig [152]. For such systems, the time axis is divided into intervals of equal length, called cycles. During the cycle the device serves different queues of requirements. The order in which he "visits" the queues is the same for each cycle.

G. Falin [154] developed an analytical approach to the diffusion approximation of the queue in the system  $M_t | G | 1 | \infty$  with periodic input flow. The author uses the principle of averaging: the periodic queue is approximated by the corresponding stationary queue with the intensity of the input  $\lambda = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t \lambda(u) du = \Lambda$ . We find

conditions under which this approximation gives a good result. It is shown that the principle of averaging takes place for SMO in the conditions of high loading in the

sense of convergence of the non-stationary process to the stationary one, which is a Brownian motion with reflection.

It should be noted that stochastic networks with periodic input flow have practically not been investigated. A lot of work is devoted to the analysis of mass service models in conditions of overload mode of operation. An overloaded mode means that the characteristics of the model depend on some parameter  $n$ , and with  $n \rightarrow \infty$  The average system load is one unit (or even more than one). The study of overloaded mode has a long history and distinguishes several areas oriented to different classes of models of mass service. Many authors have been dealing with incoming recovery processes, independent maintenance hours, and maintenance processes that are independent of the current queue and time length. For this case, the convergence of the characteristics of the normalized queue length to the solution of the differential equation or to the Brownian motion with reflection in the corresponding boundaries is proved. The methods of analysis in these works mainly use the functional central boundary theorems for the input stream, the process of maintenance and the routing process.

Another direction contains an analysis of Markov models of mass service, in which there is a dependence on the state of the system. In this case, the analysis method is mainly based on martingale technique. Using this technique, [152] proved the convergence of the maintenance process in the network  $[M | M_Q | 1 | c_n]^r$ , which depends on the length of the queue, under the conditions of the overload mode of operation before the diffusion process. For networks of type  $[M | M_Q | 1 | \infty]^r$  in the works [152] the convergence to the diffusion process is investigated. Markov models, which depend on time, are considered in particular in the works [157], [158]. Some results for incoming processes depending on the network status and total distribution of service times are given in [159].

Not only for the development of the theory, but also from the practical point of view, it is important to examine the processes of service in general assumptions both in relation to the flow of requirements and in relation to the distribution of service time.



It is commonly believed that the input flow with a very good approximation can be considered Poisson, at least in the tasks of telephony and tasks of information processing. This idea is based on the limit theorem on the total flow generated by many plurality of low intensity. Therefore, it is first and foremost important to study models in which the duration of service has an arbitrary distribution.

Many works devoted to this area of research of stochastic systems and networks. They got a lot of interesting results regarding the values of the main characteristics of the operation of the model. Mass-servicing networks with arbitrary service time, in particular under conditions of overload mode of operation. Interesting results from the research of Markov and non-Markov systems and mass-servicing networks with unlimited number of service devices have recently been received by a group of Tomsk scientists. They proposed and developed an approach called the sifted flow method ([151], [152], [153]). This method allows the problem of research of the non-Markov system (network) service with an unlimited number of devices for servicing to reduce the problem of the analysis of a non-stationary flow that is marketed. In particular, [154] presents the study of an open-source mass service network with input high-intensity flow requirements called the High Intensivative Markov-Modulated Poisson Process (HIMMPP) with unlimited number of servicing devices in nodes, Markov routing, and recurrent maintenance of requirements in conditions of increasing intensity input stream. An asymptotic analysis of this network is carried out. Using the method of dynamically sifted flow for such networks, the authors obtained an expression for calculating the average values of the number of devices employed in the node  $s$  of the described network. It is also established that under the conditions of unlimited increase of the intensity of the input stream, the multidimensional distribution of probabilities of the number of employed devices in the nodes is approximated by a multidimensional normal distribution. In this paper we obtain the characteristics of this distribution in the form of a vector of mathematical expectations and the covariance matrix.

**Basic Methods and Directions of Stochastic Network Research.** The basic approaches to the study of mass service networks are based either on the direct method

of finding expressions for the probabilities of the network conditions using the technique of constructing equations of the local balance, or on the method of constructing recurrent equations for the mean values. The above methods allow us to find the exact solution for multiplicative or, as they are often called, locally balanced networks, the stationary probabilities of states of which have a multiplicative form. For these networks, such an interesting fact was established: the stationary probabilities of the network states have a multiplicative form: in the stationary mode, the distribution of the number of requirements at the nodes of the network is independent, and their product is the stationary distribution of the entire network. This fact became the basis for further analyzes of the future of the MEMO of the general type, as well as the development of effective algorithms for the calculation of the characteristics of stochastic networks.

The search for the conditions for the existence of a multiplicative form of stationary distribution and in the last decades is reduced mainly to operation with the local equilibrium equation (see, eg [151], [155]) This leads to the expansion of known results on a more general-looking network. The disciplines of service are generalized, depending on the intensity of the input stream from the state of the network and / or time, etc.

In recent years, a number of results have been obtained, which greatly expands the possibilities of analysis of mass service networks. The main methods of analysis, which today are rather complete character, are distinguished.

Here are some basic research methods.

The Martingal approach based on the semimartingal representation of the investigated process and the use of a well-developed apparatus for the theory of martingales ([161],[163]) for the diffusion approximation of service networks, for solving filtration and optimal control problems, and also for statistical analysis of networks.

The recurrence approach ([150]), which consists in the recurrence relations for the characteristics of the system under consideration, and for the further asymptotic analysis, the boundary theorems on the convergence of stochastic recurrence schemes

to the solution of stochastic differential equations (SDE). This method is used to study a wide class of service systems with repeated calls and in the study of local area networks with multiple access protocols. G. Falin [154] introduced a class of random switching processes, which is a convenient means for describing the asymptotic behavior of a broad class of stochastic models. The switching process, the author calls the service process, which can be represented as a semi-Markov process. As a rule, the random environment in which the service model operates is considered as an external process, which is not influenced by the behavior of internal processes. The theorems of the type of the principle of averaging and diffusion approximation are proved in [149], [150], [151], and some classes of systems and mass service networks that can be represented by switching processes are considered. Asymptotic behavior has been investigated for these models, in particular under conditions of low-intensity input flows and under over-mode conditions.

The method of diffusion approximation in work [152] is used for analysis in the conditions of high load of open models of computer networks with arbitrary interval distributions between the moments of receipt of requirements to the network and the duration of their service. In this paper, common closed exponential stochastic networks are also investigated, when the number of requirements in them indefinitely increases. For such networks, conditions for congestion are formulated, in which the proposed deterministic and Gaussian approximations for the process of queue lengths are proposed. The authors managed to obtain an asymptotic schedule for the main indicators of the functioning of the networks.

Non-stationary mass service systems (SMO) also studied in works A.I. Seyman, who describes the process of serving claims in terms of birth and death processes and examining the SMO with the help of an advanced device for these processes. The proposed method is based on the logarithmic norm of the linear operator and the special transformation of the cut-off matrix of intensities of the Markov chain under consideration. This method is applicable to the class of Markovian SMO. In particular, [163] is devoted to the estimation of the convergence velocity for different types of inhomogeneous Poisson flows with a specific form of heterogeneity. Namely, when

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

the intensity of birth and death (the intensity of the input flow and service) is asymptotically periodic functions of time.

The given different approaches allow the experts to choose from them the most convenient and effective in a concrete situation. The data of numerical and simulation modeling of networks demonstrate the fact that the results of approximative formulas are quite close to precise with a sufficiently large load.

## **2.4 Підхід до побудови спеціалізованого шару цифрової карти геоінформаційної системи в інтересах планування застосування радіоелектронних засобів**

На теперішньому етапі розвитку збройної боротьби, у зв'язку із суттєвим збільшенням значення інформації та збільшенням напрямків її застосування у сучасних війнах та локальних конфліктах сучасності, провідні у військовому та економічному відношенні держави світу все зростаючу увагу приділяють підвищенню інформаційного забезпечення та підвищенню технологічного рівня своїх збройних сил (ЗС). Перевага у збройному протистоянні досягається не тільки саме шляхом застосування зброї, але й шляхом створення спеціальних військових інформаційних систем різного призначення, серед яких окреме місце займають засоби обробки цифрової інформації про місцевість та даних про противника та свої війська. Основною метою на цьому шляху є створення єдиної автоматизованої системи управління своїми військами. У сучасних умовах успішне виконання завдань військами неможливе без залучення геоінформаційних систем (ГІС) на базі цифрових та електронних карт, які за своїм функціональним призначенням можуть надавати інформацію про місцевість і зміни на ній в режимі реального часу, підвищувати ефективність функціонування систем управління військами та озброєнням, достовірно і повно оцінювати стан противника та своїх військ, вирішувати картографічні завдання, проводити аналіз даних і виконувати військово-географічні прогнози та розрахунки. Досвід провідних держав свідчить, що застосування геоінформаційних систем дозволяє більш точно й оперативно вирішувати більшість завдань як повсякденної діяльності військ, так і планування та ведення бойових дій та їх візуалізації [164].

На сучасному етапі в світі активно вивчається досвід надання геоінформаційної (геопросторової) підтримки через аналіз нормативно-правових документів (наприклад [166-167]), щодо застосування збройних сил провідних світових держав та об'єднаних збройних сил НАТО.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Геоінформаційна (геопросторова) підтримка (Г(Г)П) базується на використанні геоінформаційних систем (ГІС), які забезпечують збір, зберігання, обробку, доступ, відображення і розповсюдження просторово координованих даних (просторових даних), містить дані про просторові об'єкти в формі їх цифрових уявлень (векторних, растрових та інших). Ця технологія об'єднує традиційні операції роботи з базами даних, такими як запит і статистичний аналіз, з перевагами повноцінної візуалізації і географічного (просторового) аналізу, які надає карта. Ці можливості відрізняють ГІС від інших інформаційних систем і забезпечують унікальні можливості для її застосування в широкому спектрі завдань, пов'язаних з аналізом і прогнозом явищ і подій навколишнього світу, з осмисленням і виділенням головних факторів і причин, а також їх можливих наслідків, з плануванням стратегічних рішень і поточних наслідків.

Цифрова картографічна інформація становить основу всієї інформації, яка використовується під час надання геоінформаційної (геопросторової) підтримки та застосовується для координатної прив'язки різноманітних видів інформації, необхідної для планування операцій і застосування різних видів зброї. Така інформація використовується у геоінформаційних системах (ГІС), важливою частиною якої є її цифрові шари. В геоінформаційних системах реалізовано принцип пошарової організації даних, який полягає в тому, що використовується деякий розподіл об'єктів на тематичні шари, і об'єкти, віднесені до одного шару, утворюють деяку логічно (а часто і фізично) окрему одиницю даних, що підвищує можливості з геопросторового аналізу та геопросторової розвідки [165].

У порівнянні зі збройними силами провідних країн світу теперішній стан забезпечення інформацією про місцевість і об'єкти на ній характеризується недостатнім використанням величезних можливостей інформаційних технологій в процесах створення і обробки геопросторової інформації. Тому прискорення процесу впровадження ГІС як складових військових інформаційних систем нового покоління, так і для вирішення завдань геоінформаційного забезпечення військ є невідкладним та актуальним завданням.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Отже, важливим завданням під час впровадження геоінформаційної (геопросторової) підтримки є перехід до створення топогеодезичної інформації в цифровому вигляді, створенні необхідної номенклатури шарів цифрової карти та забезпечення такою інформацією військ (сил) із подальшим освоєнням та впровадженням новітніх геоінформаційних технологій у діяльність органів управління, військових частин та підрозділів. Вирішення цього завдання дозволить задовольнити вимоги користувача до точності, надійності, а головне – до оперативності і достовірності цієї інформації, без чого неможливі вивчення та оцінювання місцевості під час прийняття обґрунтованих рішень, планування, підготовки та проведення дій різного характеру, організації управління та взаємодії, а також ефективного застосування спеціальної техніки.

В умовах сучасних бойових дій за великої кількості радіоелектронних об'єктів і радіоелектронних засобів (РЕЗ) наземного та повітряно-космічного базування [168-171], оцінювання можливостей з радіоелектронного подавлення (РЕП) може здійснюватись лише заздалегідь та для фіксованих варіантів розташування РЕЗ та засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ). Це пояснюється особливостями планування дій з застосуванням РЕЗ (зв'язку, радіолокаційних, розвідки, радіоелектронного подавлення тощо) в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ). Планування застосування РЕЗ в умовах РЕБ у більшості випадків потребує прогнозування відношення сигнал/перешкода на входах приймачів, які подавляються, за розрахунками, що проводяться в умовах невизначеності за їх невідомого положення. Ця потреба, а також обов'язковість врахування умов поширення електромагнітних хвиль, обумовлюють необхідність оцінювання відношення перешкода/сигнал для кожної точки значної просторової області (включаючи побудову профілю рельєфу до кожної точки та визначення множника ослаблення при інтерференції та рефракції), а отже великих обчислювальних витрат. Використання елементів геоінформаційних систем при плануванні застосування радіоелектронних засобів (РЕЗ) супроводжується проблемою вирішення протиріччя між

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

детальністю шару висот ГІС, обсягом обчислювальних витрат та точністю моделей впливу рельєфу на поширення електромагнітних хвиль.

Оперативне реагування на зміну радіоелектронної обстановки вбачається досить складним. Для зменшення об'єму обчислювальних витрат необхідно виділити складову, яка описує умови розповсюдження електромагнітних хвиль та оцінити можливість та доцільність створення відповідного інформаційного шару ГІС.

Планування дій з застосуванням радіоелектронних засобів (зв'язку, радіолокаційних, розвідки, радіоелектронного подавлення тощо) в умовах радіоелектронної боротьби (РЕБ) у більшості випадків потребує прогнозування відношення сигнал/перешкода на входах приймачів, які подавляються, за розрахунками, що проводяться в умовах невизначеності за їх невідомого положення. Ця потреба, а також обов'язковість врахування умов поширення електромагнітних хвиль, обумовлюють необхідність оцінювання відношення перешкода/сигнал для кожної точки значної просторової області (включаючи побудову профілю рельєфу до кожної точки та визначення множника ослаблення при інтерференції та рефракції), а отже великих обчислювальних витрат. Використання елементів геоінформаційних систем (ГІС) при плануванні застосування радіоелектронних засобів (РЕЗ) стало вже традиційним. При цьому виникає проблема вирішення протиріччя між детальністю шару висот ГІС, обсягом обчислювальних витрат та точністю моделей впливу рельєфу на поширення електромагнітних хвиль.

Слід відмітити, що реалізація різноманітних спеціалізованих шарів даних у складі ГІС спеціального призначення на протязі тривалого часу вже використовується у збройних силах країн-членів НАТО та тривалий час є стандартом, що має вигляд геопросторової підтримки операцій (бойових дій) та під час проведення повітряно-космічних операцій НАТО.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показує, що на основі розробленої у [172] методики побудови зони подавлення системи радіозв'язку з урахуванням рельєфу місцевості, сферичності Землі та тропосферної рефракції запропоновано



детальний математичний апарат, який дозволяє побудувати просторові зони подавлення для різних варіантів комбінацій “передавач”, “приймач”, “засіб перешкод”, в тому числі і за умов невизначеності. Водночас запропонований математичний апарат вимагає побудови траси розповсюдження та проведення великого об’єму розрахунків для кожної точки простору. В роботах [172-173] наведені методики, які дозволяють вирішувати окремі часткові задачі, в тому числі з використанням елементів ГІС, з урахуванням основних факторів впливу. Зокрема, розглянуто питання оптимізації розміщення радіоелектронних засобів на місцевості, а в [174-177] питання проектування радіоліній та частотно-територіальне планування. Водночас існує ряд завдань, які вимагають проведення розрахунків, пов’язаних з співвідношенням енергетики сигналів та перешкод у режимі близькому до реального часу. За умов значної кількості радіоелектронних засобів вирішення такої задача може бути вирішена збільшенням часу, розпаралелюванням задач, спрощенням розрахунків або формуванням спеціалізованого шару ГІС, який враховуватиме вплив умов розповсюдження для кожної пари точок [178-180].

Отже, не вирішеним раніше завданням є розроблення математичного апарату для формування спеціалізованого шару ГІС параметрів впливу умов поширення електромагнітних хвиль (рельєфу місцевості) на ефективність радіоелектронного подавлення та визначення його раціонального об’єму.

Представимо підхід до обґрунтування математичного апарату для побудови спеціалізованого шару параметрів рельєфу місцевості у геоінформаційній системі для планування дій радіоелектронних засобів в умовах радіоелектронної боротьби завдяки урахуванню параметрів впливу умов поширення електромагнітних хвиль (рельєфу місцевості) з подальшою метою збільшення ефективності радіоелектронного подавлення.

Відомо [181], що умовою подавлення є забезпечення потужності перешкоди  $P_{n\text{ вх}}$  на вході приймача в  $k_n$  раз більшої за потужність сигналу  $P_{свх}$  :

$$k_n = \frac{P_{n\text{ вх}}}{P_{c\text{ вх}}}, \quad (1)$$

Отже оцінка можливості подавлення радіоелектронного засобу полягає у розрахунку відношення перешкода/сигнал і порівнянні його з значенням коефіцієнта подавлення.

Для систем зв'язку відношення потужності перешкоди до потужності сигналу в будь-якій точці простору має вигляд:

$$\frac{P_{n.\text{вх}}}{P_{c.\text{вх}}} = \frac{P_n G_n}{P_c G_c} \cdot \frac{D_l^2}{D_{нрл}^2} \cdot \frac{g_{n\delta}^2(\phi_{nn})}{g_{nm}^2(\phi_{n\delta})} \cdot \frac{g_n^2(\phi_n)}{g_c^2(\phi_{nm})} \cdot \frac{\Delta f_{нр} \gamma_n K_{oc}}{\Delta f_n}, \quad (2)$$

де  $P_n$  – потужність передавача перешкод;

$G_n$  – коефіцієнт направленої дії антени передавача перешкод;

$\Delta f_n$  – ширина спектра перешкоди;

$P_c$  – потужність сигналу передавача системи зв'язку;

$G_c$  – коефіцієнт направленої дії передавальної антени;

$g_{n\delta}(\phi, \theta)$  – діаграма спрямованості передавальної антени по полю;

$g_{nm}(\phi, \theta)$  – діаграма спрямованості приймальної антени по полю;

$\Delta f_{нр}$  – смуга пропускання лінійної частини приймача радіолінії;

$D_l$  – довжина лінії (відстань між передавачем і приймачем);

$g_n(\phi, \theta)$  – діаграма спрямованості антени станції перешкод (по полю);

$D_{нрл}$  – відстань між джерелом перешкоди і приймачем радіолінії;

$K_{oc}$  – коефіцієнт ослаблення перешкоди;

$\gamma_n$  – поляризаційний коефіцієнт.

Ослаблення електромагнітних хвиль залежить від багатьох факторів, зокрема явищ інтерференції, рефракції, загасання в дощі, тумані, пилу тощо. Коефіцієнт ослаблення може бути поданий у вигляді:

$$K_{oc} = 10^{0,1V_i} 10^{0,1V_p} e^{-\alpha L}, \quad (3)$$

де  $V_i$  – значення множника ослаблення внаслідок інтерференції хвиль;

$V_p$  – значення множника ослаблення внаслідок рефракції хвиль;

$\alpha$  – коефіцієнт загасання хвиль на одиницю відстані;

$L$  – протяжність траси розповсюдження електромагнітних хвиль.

Вплив явищ інтерференції та рефракції розглядається в статті кожен окремо.

Ілюстрація геометричних параметрів, за яких розраховують такий вплив, схематично наведена на рисунку 1.

Значення модуля множника ослаблення при інтерференції для першого інтерференційного мінімуму визначається з виразу [177]:

$$|V_i| = 11,26 \frac{\Delta y \sqrt{k^3(1-k)^3} D_n^3}{r_g^2 \sqrt{\lambda}} = \frac{V_i^*}{\sqrt{\lambda}}, \quad (4)$$

де  $\Delta y$  – висота перешкоди відносно лінії, що поєднує точки проєкцій антен на земну поверхню;

$k = \frac{R_1}{D_n}$  – відносна координата фізичної перешкоди ( $R_1$  – відстань від передавача до фізичної перешкоди);

$r_g^2$  – довжина хорди, що утворюється в результаті перетину лінії, яка з'єднує точки проєкцій антен на земну поверхню, з колом, яке апроксимує фізичну перешкоду;

$$V_i^* = 11,26 \frac{\Delta y \sqrt{k^3(1-k)^3} D_n^3}{r_g^2}.$$



$$|V_p| = \frac{0,16\sqrt{D_n\lambda k(1-k)}}{H} = V_p^* \sqrt{\lambda}, \quad (6)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі;

$H$  – перевищення фізичною перешкодою лінії, що з'єднує антени передавача та приймача;

$$V_p^* = \frac{0,16\sqrt{D_n k(1-k)}}{H}.$$

Значення  $H$  розраховується з виразу:

$$H = h_p - (l_1 + h_1)(1-k) - (l_2 + h_2)k, \quad (7)$$

де  $h_p$  – висота фізичної перешкоди відносно рівня моря;

$h_1$  – висота антени;

$h_2$  – висота польоту літака над поверхнею Землі.

Граничне значення висоти перешкоди над рівнем моря  $h_{i0}$ , за якої є істотним вплив на розповсюдження електромагнітних хвиль явища інтерференції може бути оцінене з виразів:

$$\begin{cases} (R_3 + h_{i0})^2 + R_1^2 = (R_3 + l_1 + h_1)^2 \\ (R_3 + h_{i0})^2 + (D_n - R_1)^2 = (R_3 + l_2 + h_2)^2 \end{cases}, \quad (8)$$

де  $R_3$  – радіус Землі;

$D_n - R_1$  – відстань від фізичної перешкоди до приймача РЕЗ.

Тоді умовою істотного впливу інтерференції є:

$$h_{i0} < \frac{h_1 + l_1 + h_2 + l_2}{2} - \frac{D_n^2(1-k)}{4R_3}, \quad (9)$$

Виходячи з рис. 1 та враховуючи вираз (5), значення просвіту  $H_0$  можна подати у вигляді:

$$H_0 = (\Delta h_2 - \Delta h_1)k + \Delta h_1, \quad (10)$$

де  $\Delta h_2 = h_2 + l_2 - h_i$  перевищення антени приймача над висотою фізичної перешкоди над рівнем моря;

$\Delta h_1 = h_1 + l_1 - h_i$  . перевищення антени передавача перешкод над висотою фізичної перешкоди над рівнем моря.

Отже, судячи з (10), значення просвіту визначається перевищенням антен передавача та приймача над висотою фізичної перешкоди над рівнем моря. Водночас найбільші інтерференційні мінімуми мають місце за таких умов:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} D_n \lambda (1-k)k}, \quad (11)$$

Вираз (11) свідчить про те, що створення масиву значень множника ослаблення у залежності від висоти антени передавача (приймача) обмежується досягненням значення просвіту, за якого можливі найбільші інтерференційні мінімуми.

Граничне значення висоти перешкоди над рівнем моря  $h_{p0}$ , за якої є істотним вплив на розповсюдження електромагнітних хвиль явища рефракції можна отримати, якщо прирівняти вираз (6) до одиниці та розв'язати систему рівнянь (6), (7).

Тоді умовою істотного впливу рефракції є:

$$h_{p0} > (l_1 + h_1)(1-k) + (l_2 + h_2)k + 0,16\sqrt{D_n \lambda k(1-k)}, \quad (12)$$

Оцінювання можливості подавлення засобом радіоелектронної боротьби приймачів БРЛС або системи зв'язку в більшості випадків відбувається за їх невідомого положення. Це потребує оцінювання відношення перешкода/сигнал для кожної точки значної просторової області (включаючи побудову профілю рельєфу до кожної точки та визначення множника ослаблення при інтерференції та рефракції), а отже великих обчислювальних витрат.

В умовах сучасних бойових дій за великої кількості РЕЗ, оцінювання можливостей з подавлення може здійснюватись лише заздалегідь та для фіксованих варіантів розташування РЕЗ та засобів РЕБ. Оперативне реагування на зміну радіоелектронної обстановки вбачається досить складним. Для зменшення об'єму обчислювальних витрат слід в виразах (1) та (2) виділити складову, яка описує умови розповсюдження електромагнітних хвиль та оцінити можливість та доцільність створення відповідного інформаційного шару геоінформаційної системи.

Множник

$$K_{ГИС}(r, \phi, h_1, h_2) = \frac{10^{0,1V_i^*(r, \phi, h_1, h_2)} 10^{0,1V_p^*(r, \phi, h_1, h_2)} e^{-\alpha r}}{r^2} \quad (13)$$

описує вплив умов розповсюдження електромагнітної хвилі від точки знаходження постановника перешкод до точки з полярними координатами  $r, \phi$ .

При цьому значення коефіцієнта ослаблення в (2) визначають з виразу:

$$K_{oc} = \begin{cases} K_{ГИС}(r, \phi, h_1, h_2)^{\sqrt{\lambda}}; \\ K_{ГИС}(r, \phi, h_1, h_2)^{\frac{1}{\sqrt{\lambda}}}. \end{cases}$$

для істотного впливу явища рефракції та для істотного впливу явища інтерференції відповідно.

Слід зауважити, що реалізація виразу (13) у вигляді шару ГІС передбачає зберігання великого об'єму даних і потребує застосування клієнт-серверної технології.

Для раціоналізації об'єму даних доцільно ввести обмеження та припущення, за яких використовуватиметься наведений математичний апарат при створенні спеціалізованої ГІС.

За умови  $k=0,5$  з виразу (9) отримаємо розмір області простору, для якої слід враховувати вплив явища інтерференції:

$$\left\{ \begin{array}{l} D = 2R_1 = 2\sqrt{2R_3 \left( \frac{h_1 + l_1 + h_2 + l_2}{2} - h_i \right)}, \\ \text{якщо } \frac{h_1 + l_1 + h_2 + l_2}{2} - h_i > 0; \\ D = 0, \text{ якщо } \frac{h_1 + l_1 + h_2 + l_2}{2} - h_i \leq 0. \end{array} \right.$$

та з виразу (12) – явища рефракції:

$$\left\{ \begin{array}{l} D = 2R_1 = 2\lambda \left( \frac{h_{p0} - 0,5(l_1 + h_1 + l_2 + h_2)}{0,8} \right)^2, \\ \text{якщо } h_{p0} - 0,5(l_1 + h_1 + l_2 + h_2) > 0; \\ D = 0, \text{ якщо } h_{p0} - 0,5(l_1 + h_1 + l_2 + h_2) \leq 0. \end{array} \right.$$

Проведемо практичні розрахунки для отримання орієнтовних значень на пропонуємому шарі ГІС, з метою оцінки можливості застосування запропонованого математичного апарату та можливого обчислювального навантаження на комп'ютерні засоби ГІС.



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

За висоти антени 20 м для нерівномірності рельєфу 10% область простору, на якій слід враховувати явище інтерференції обмежується радіусом 1,5 км. Для дискретності значень висот антен 1 м, координат дальності 100 м, координат азимуту  $1^\circ$  об'єм даних являтиме масив розмірністю  $20 \times 20 \times 15 \times 360$  та міститиме 2160000 значень. Така кількість значень отримана для площі  $S = \pi r^2 = 3,14 \times 1,5^2 = 7,065 \text{ км}^2$ . Тоді кількість значень на кожний  $\text{км}^2$  буде складати 305732. Якщо кожне значення множника ослаблення має розмір 1 байт, то для зберігання інформації масиву коефіцієнтів ослаблення для кожної точки простору потребує 300кб ( $305732 : 1024$ ) інформації.

Таким чином, запропоновано підхід для побудови спеціалізованого шару параметрів рельєфу місцевості у геоінформаційній системі для планування дій радіоелектронних засобів в умовах радіоелектронної боротьби завдяки урахуванню параметрів впливу умов поширення електромагнітних хвиль (рельєфу місцевості) з подальшою метою збільшення ефективності радіоелектронного подавлення через визначення співвідношень енергетики сигналів та перешкод у будь-якій точці простору за значеннями характеристик передавача та приймача сигналів, а також засобу перешкод.

При цьому, врахування умов розповсюдження електромагнітних хвиль здійснюється на основі попередньо розрахованої для кожної пари точок матриці коефіцієнтів згасання та реалізованої у вигляді спеціалізованого шару геоінформаційної системи.

Запропоновано математичний апарат для розрахунків та визначено умови істотного впливу явищ інтерференції та рефракції, при цьому, ділянка простору, в межах якої розраховують коефіцієнти згасання, обмежується дальністю прямої видимості (з урахуванням можливих висот підйому антен та явища рефракції).

Проведені практичні розрахунки для отримання орієнтовних значень, з метою оцінки можливості застосування запропонованого математичного апарату, показали несуперечність та теоретичну можливість його застосування у вигляді спеціалізованого шару ГІС.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Вказаний математичний апарат та підхід до його отримання може бути корисний як при вдосконаленні існуючих ГІС, так і при розробці нових спеціалізованих ГІС.

Реалізація пропонуемого шару у ГІС дозволить оперативно реагувати на зміни в радіоелектронній обстановці та розраховувати можливе радіоподавлення в реальному масштабі часу під час займання незапланових позицій РЕЗ.

Отже, ми бачимо, що впровадження геоінформаційних систем у повсякденну діяльність органів військового управління та військ є одним з важливих напрямів підвищення ефективності систем управління військами та озброєнням, в тому числі автоматизованих систем, достовірності та повноти оцінки стану противника, підготовки та ефективного застосування своїх частин і підрозділів. Буде сприяти зменшенню часу на кожному етапі циклу управління.

Створення спеціалізованих геоінформаційних систем військового призначення або застосування вже існуючих геоінформаційних систем країн НАТО, які вже себе добре зарекомендували під час їх практичного застосування за призначенням (наприклад поширена в країнах НАТО геоінформаційна система Arcgis) та мають високий та дієвий рівень взаємодії між збройними силами різних держав, потребує розв'язання величезної низки питань, в тому числі, підготовки та підвищення кваліфікації фахівців, відповідальних за надання геоінформаційної (геопросторової) підтримки, забезпечення ліцензованими програмними засобами, комп'ютерною технікою, актуальними бібліотеками, від спеціалізованих цифрових шарів місцевості аж до переліку зображень топографічних та тактичних умовних знаків.

## **2.5 Інформаційна система вибору дорожньо-будівельних машин та інформаційного інструментарію для вирішення задачі позиціонування їх робочих органів**

Вся сучасна економіка базується на управлінні інформацією. Дані вирішують все, і дуже важливо ефективно їх обробляти. Область застосування БД та СУБД для вирішення різних економічних задач дуже обширна. Сьогодні організації все більше усвідомлюють необхідність в інтегруванні всіх типів інформації - від офісних документів і електронних таблиць до, наприклад, медичних зображень - в повсякденні бізнес-процеси. Єдине розміщення і захист усіх типів інформації допомагає значно скоротити витрати на пристрої зберігання.

Однак при використанні великих обсягів і декількох віддалених інтернет-джерел даних актуальним стає питання агрегації і обробки подібної інформації.

Створенню такої інформаційної системи для вибору дорожньо-будівельних машин та інформаційного інструментарію для вирішення задачі позиціонування їх робочих органів.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу вибору дорожньо-будівельних машин та інформаційного інструментарію для вирішення задачі позиціонування їх робочих органів.

Об'єктом роботи є процес вибору дорожньо-будівельних машин та інформаційного інструментарію для вирішення задачі позиціонування їх робочих органів з різних джерел на основі замовлення користувача.

Предметом роботи є розробка інформаційної системи вибору дорожньо-будівельних машин та інформаційного інструментарію для вирішення задачі позиціонування їх робочих органів.

Моделювання інформаційної системи

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Інформаційна система, повинна забезпечити користувача функціями [183-184]:

- накопичення і зберігання даних щодо різних моделей дорожньо-будівельних машин, їх робочих органів та їх параметрів (технічні, експлуатаційні, цінові, тощо), але не копіювати повністю оригінальні записи, тобто повна інформація про машини зберігається на різних основних сайтах;

- накопичення і зберігання даних щодо продавців дорожньо-будівельних машин;

- накопичення і зберігання даних щодо користувачів, які надсилають замовлення на оцінку своїх дорожньо-будівельних машин;

- накопичення і зберігання даних щодо замовлень на оцінку дорожньо-будівельних машин;

- накопичення і зберігання даних щодо контактів користувачів та продавців;

- накопичення і зберігання даних щодо сайтів, де зберігаються повні версії об'яв продавців;

- ефективний пошук дорожньо-будівельних машин для забезпечення вимог користувачів, які визначають необхідні технічні і економічні параметри;

- формування та роздрук необхідної звітної документації.

Інформацію про предметну область описують сутності про дорожньо-будівельні машини, про замовлення, про користувачів, про продавців, про сайти.

Дані про дорожньо-будівельні машини включають їх код, марку, код продавця, тип автівки, вік, пробіг, ціна, тип кузова, тип палива, наявність пошкоджень, код сайту, дата об'яви, url-адреса об'яви.

Дані про замовлення включають код замовлення, код користувача, дата та час розміщення, марка, вік, пробіг, тип палива, тип кузова.

Дані про користувачів включають код користувача, нікнейм, пароль, прізвище та ім'я, телефон, е-мейл.

Дані про продавців включають код продавця, ім'я або найменування, місто, область, телефон, е-мейл.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Дані про сайти включають код сайта, url-адреса API, ключ до API, формат запитів до API, обмеження запитів, додаткову інформацію.

Логічна модель даних є початковим прототипом майбутньої бази даних і відображає дані предметної області у вигляді сукупності інформаційних об'єктів.

Логічна модель з урахуванням англомовних аналогів матиме такий вигляд.

Будівельно-дорожні машини (Код автівки, Код марки, Код продавця, Код типу автівки, Вік, Пробіг, Ціна, Тип кузова, Тип палива, Наявність пошкоджень, Код сайта, Дата об'яви, URL-адреса об'яви). Або – autos (id\_auto, id\_mark, id\_seller, age, mileage, price, id\_bodytype, id\_fueltype, damaged, id\_site, date\_ad, link\_ad).

Замовлення (Код замовлення, Код користувача, Дата та час розміщення, Код марки, Вік, Пробіг, Тип кузова, Тип палива). Або – orders (id\_order, id\_user, date\_order, id\_mark, age, mileage, id\_bodytype, id\_fueltype)

Продавці (Код продавця, Ім'я або найменування, Місто, Область, Телефон, Е-мейл). Або – sellers (id\_seller, name\_seller, city, region, phone\_seller, email\_seller).

Користувачі (Код користувача, Нікнейм, Пароль, Прізвище або ім'я, Телефон, Е-мейл). Або – users (id\_user, nik\_user, pass\_user, name\_user, phone\_user, email\_user).

Сайти (Код сайта, URL-адреса API, Ключ до API, Формат запитів до API, Обмеження запитів, Додаткова інформація). Або – sites (id\_site, url\_api, key\_api, format\_api, limit\_requests, add\_info).

Марки дорожньо-будівельних машин (Код марки, Найменування марки). Або – automarks (id\_mark, name\_mark).

Типи дорожньо-будівельних машин (Код типу, Найменування типу). Або – autotypes (id\_type, name\_type).

Типи кузова (Код типу кузова, Найменування кузова). Або – bodytypes (id\_bodytype, name\_bodytype).

Типи палива (Код типу палива, Найменування палива). Або – fueltypes (id\_fueltype, name\_fueltype).

Останні чотири елементи логічної моделі – таблиці-довідники, що дозволять уникнути дублювання даних.

Загальна ефективність інформаційної підсистеми керування БДМ впливає на забезпечення швидкості й точності виконання робочих операцій. Система позиціонування є фундаментальною частиною автоматизованої системи управління, оскільки при будь-яких операціях має бути відомо положення всього обладнання у просторі. Система управління повинна забезпечувати операторів обладнання безперервною і поновлювальною інформацією про їхнє становище. Ці завдання можливо вирішити тільки завдяки програмно-інформаційного інструментарію.

Аналіз сучасного програмно-інформаційного інструментарію систем позиціонування робочого органу машини у сучасному дорожньому будівництві у повній мірі не проводився. Щоб надати найбільш точні оцінки й можливі прогнози щодо напрямків використання систем позиціонування, необхідна комплексна ітеративна методологія дослідження, спрямована на мінімізацію відхилень. Для створення безпечного, високоякісного, стійкого середовища в будівельній галузі необхідно застосовувати рентабельні й ефективні методи керування.

#### Розробка інформаційної системи

Схема СУБД побудована автоматично за допомогою компонента phpMyAdmin «Дизайнер» після створення всіх необхідних таблиць та зв'язків між ними. Зв'язок "один - до - багатьох" зображений на схемі у вигляді лінії, що з'єднує потрібні таблиці, біля одного кінця якої стоїть крапка, а біля іншого – невелике півколо [185-187].

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Схема даних з урахуванням усіх основних таблиць і таблиць-довідників наведена на рисунку 1. Назви таблиць та необхідних полей для СУБД MySQL зроблено англomовними.

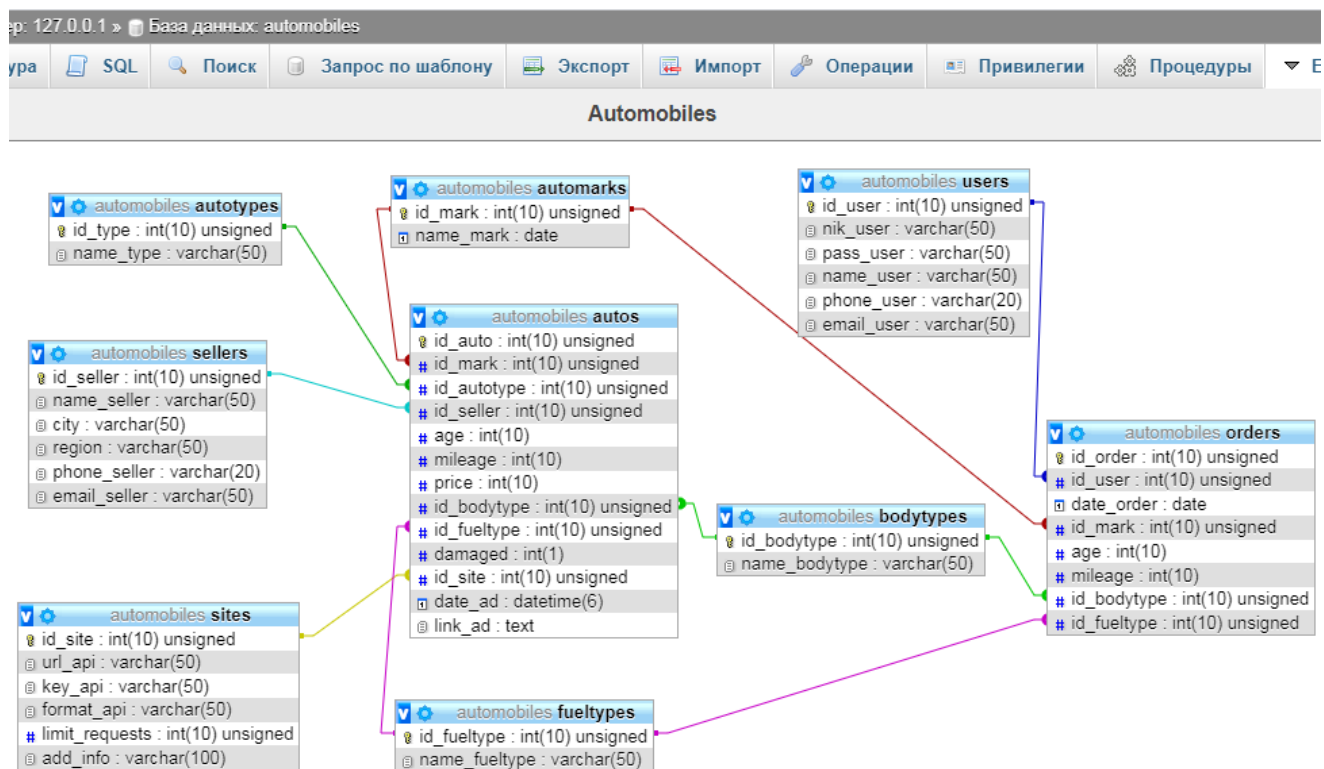


Рисунок 1 – Схема даних

Для створення таблиць використано додаток XAMPP Control Panel. У вікні управління було завантажено на старт модулі Apache (серверна частина) і MySQL (база даних). Після цього в поточному браузері активізовано сторінку з локальною адресою <http://127.0.0.1/phpmyadmin/>. Це панель адміністрації локального сервера. Один з варіантів її виду представлений на рисунку 2.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

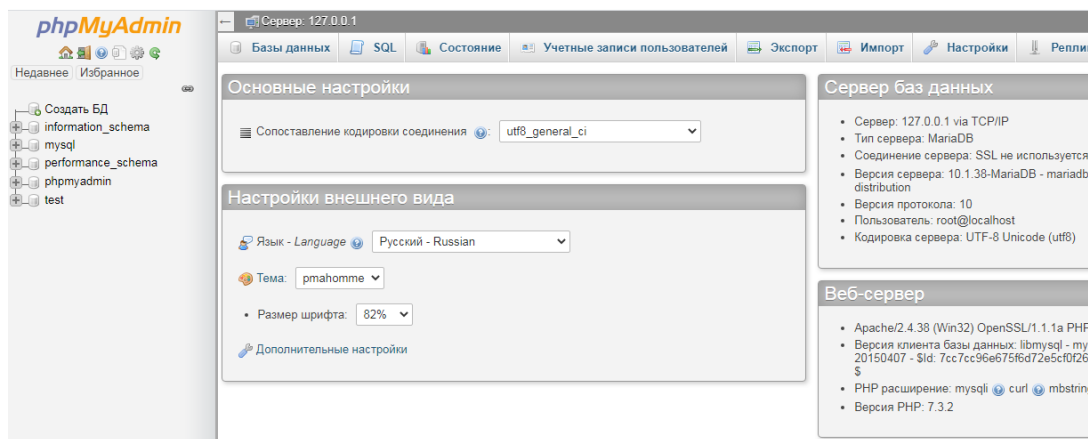


Рисунок 2 – Сторінка phpMyAdmin

За допомогою команд вказаної панелі створюється база даних, а в ній за допомогою команд створюються таблиці бази.

Результат створення таблиці autos та її структура показані на рисунку 3.

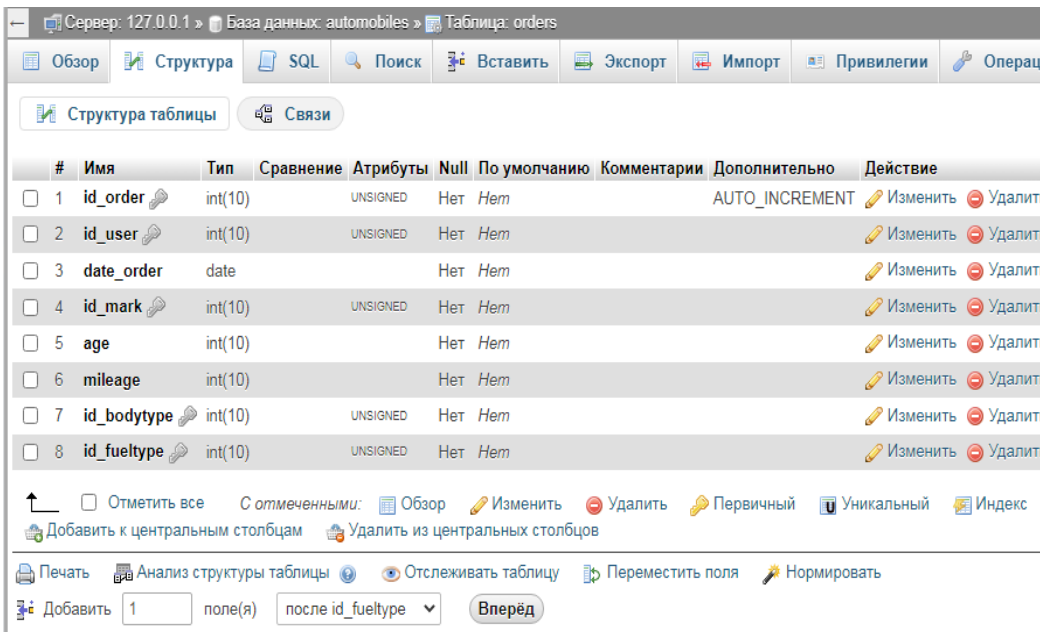
The image shows the 'Структура таблицы' (Table structure) view in phpMyAdmin for the 'autos' table. The table has 12 columns. The first column, 'id\_auto', is the primary key and has the 'AUTO\_INCREMENT' attribute. The other columns are 'id\_mark', 'id\_seller', 'age', 'mileage', 'price', 'id\_bodytype', 'id\_fueltype', 'damaged', 'id\_site', 'date\_ad', and 'link\_ad'. Each column has a checkbox for selection and a set of icons for actions like 'Изменить' (Change), 'Удалить' (Delete), and 'Ещё' (More).

| #                        | Имя | Тип         | Сравнение   | Атрибуты        | Null | По умолчанию | Комментарии | Дополнительно  | Действие             |
|--------------------------|-----|-------------|-------------|-----------------|------|--------------|-------------|----------------|----------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1   | id_auto     | int(10)     | UNSIGNED        | Нет  | Нет          |             | AUTO_INCREMENT | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 2   | id_mark     | int(10)     | UNSIGNED        | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 3   | id_seller   | int(10)     | UNSIGNED        | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 4   | age         | int(10)     |                 | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 5   | mileage     | int(10)     |                 | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 6   | price       | int(10)     |                 | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 7   | id_bodytype | int(10)     | UNSIGNED        | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 8   | id_fueltype | int(10)     | UNSIGNED        | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 9   | damaged     | int(1)      |                 | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 10  | id_site     | int(10)     | UNSIGNED        | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 11  | date_ad     | datetime(6) |                 | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |
| <input type="checkbox"/> | 12  | link_ad     | text        | utf8_general_ci | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить Ещё |

Рисунок 3 – Структура таблиці autos

Результат створення таблиці orders та її структура показані на рисунку 4.





| #                        | Имя           | Тип     | Сравнение | Атрибуты | Null | По умолчанию | Комментарии | Дополнительно  | Действие         |
|--------------------------|---------------|---------|-----------|----------|------|--------------|-------------|----------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1 id_order    | int(10) |           | UNSIGNED | Нет  | Нет          |             | AUTO_INCREMENT | Изменить Удалить |
| <input type="checkbox"/> | 2 id_user     | int(10) |           | UNSIGNED | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить |
| <input type="checkbox"/> | 3 date_order  | date    |           |          | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить |
| <input type="checkbox"/> | 4 id_mark     | int(10) |           | UNSIGNED | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить |
| <input type="checkbox"/> | 5 age         | int(10) |           |          | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить |
| <input type="checkbox"/> | 6 mileage     | int(10) |           |          | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить |
| <input type="checkbox"/> | 7 id_bodytype | int(10) |           | UNSIGNED | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить |
| <input type="checkbox"/> | 8 id_fueltype | int(10) |           | UNSIGNED | Нет  | Нет          |             |                | Изменить Удалить |

Рисунок 4 – Структура таблиці orders

За допомогою тієї ж послідовності дій створено таблиці Продавці (sellers), Користувачі (users), Сайти (sites), Марки автівок (automarks), Типи автівок (autotypes), Типи кузова (bodytypes) та Типи палива (fueltypes).

Форми введення даних створювались за допомогою алгоритмічної мови Python в середовищі Anaconda з використанням графічної бібліотеки Tkinter.

Форми в додатках на основі єдиного інтерфейсу надають поліпшений користувацький інтерфейс для оптимальної продуктивності агента і допомагають підтримувати контекст під час роботи зі зв'язаними записами.

Джерелом даних для форми є записи таблиці або запити.

Приклад форми для заповнення замовлення наведений на рисунку 5.

Замовлення

Код замовлення

Користувач  Дата замовлення

Параметри замовлення

Марка авто  Тип кузова

Вік (років)  Тип палива

Пробіг (тис.км)

Рисунок 5 – Форма «Замовлення»

Формування запитів, цього найважливіший інструмент для добування інформації з однієї або декількох таблиць бази даних, кінцевому користувачу зручно здійснювати також через форми.

Користувач необхідно ввести потрібні параметри, а при натисканні кнопки «Показати звіт» програма робить підстановку параметрів в заздалегідь підготований шаблон запиту і відправляє його до бази даних. Приклад форми для подібного запиту представлено на рисунку 6.

Замовлення за період

Виберіть початок періоду

Виберіть закінчення періоду

Рисунок 6 – Форма для запиту «Замовлення за період»

Приклад звіту за цим запитом наведено на рисунку 7. Він показує, скільки за вказаний період було зроблено замовлень, скількома користувачами та для

скільки марок автомобілів. Звіт формується як окрема html-сторінка, котру можна подивитись в браузері або в його окремому вікні.

**Звіт за період з 18.05.2021 по 31.05.2021**

Оформлено замовлень: 5

Користувачів: 3

Різних марок авто: 5

Рисунок 7 – Приклад звіту про замовлення за період

Для підвищення продуктивності розглянемо інформаційний інструментарій для вирішення задачі позиціонування робочого органу будівельно-дорожньої машини.

Аналіз інформаційного інструментарію для вирішення задачі позиціонування робочого органу будівельно-дорожньої машини

У відкритих кар'єрах найпродуктивнішою технологією є просторове позиціонування за допомогою супутникової системи GPS. Нові системи управління БДМ, розроблені за останні роки, об'єднують досягнення в області супутникового позиціонування GPS і відповідні засоби SAPR. Вони дозволяють оператору обладнання в звичайних умовах бачити створений комп'ютером об'єкт та постійно оновлювати топографічну інформацію про нього [188]. Ці системи можуть зберігати схеми виконаних робіт і відразу передавати результати проектувальнику для перевірки. Кінцева мета системи - повністю виключити етап розбивки об'єкта традиційними методами, здійснити електронну передачу проектних даних в транспортне обладнання відразу з офісу і безперервно оновлювати дані про переміщення машин і матеріалів [188].

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Поглиблений конкурентний аналіз інформаційного інструментарію систем позиціонування БДМ на ринку України дозволив указати тенденції розвитку основних напрямків [189].

Саме від етапів проектування залежить якість і вартість будівельного проекту. Вибір технологічного рішення визначає ефективність впровадження систем позиціонування робочого органу БДМ. Цей факт дозволяє обмежити кількість вершин множини можливих станів системи автоматичного керування робочого органу, яка збільшується у часі, що значно зменшує вимоги до обчислювальної потужності та пам'яті бортової ЕОМ. З іншого боку, з'являється можливість побудови множин можливих станів системи автоматичного керування робочим органом, що еволюціонують у часі.

Насамперед, варто вибрати графічну платформу, на якій повинні працювати прикладні системи. Це повинен бути досить потужний редактор з функціональними можливостями, що постійно розширюються. Крім того, варто вибрати відкриту систему, що надає користувачеві можливість розробки власних додатків, що збільшують можливості базових систем.

Початок моделювання робочої ділянки пов'язане з підготовкою топогеодезичної основи, у якості якої можуть служити електронні карти (як растрові, так і векторні) або зображення, отримані з космосу.

Потім "піднімається" рельєф, на якому будуть розташовуватися моделі об'єктів. Тут на допомогу приходять ГІС, що обробляють дані дистанційного зондування землі.

При цьому застосовується цифрова фотограмметрія по стереопарах аеро- або космічних фотознімків або ж будується рельєф по ізолініях оцифрованих паперових карт. Паралельно з розрахунком і створенням об'єктів йде робота з інформаційного наповнення залежно від специфіки застосування моделі.

Програмний продукт повинен автоматизувати всі етапи будівельного проектування й містити інструментальні засоби, необхідні геодезістам, топографам, розроблювачам генерального плану, шляховикам та іншим фахівцям.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Важливий момент будь-якого будівництва на місцевості - одержання інформації про землю, тому обраний продукт повинен мати інструмент аналізу поверхні з наступною побудовою цифрової моделі місцевості, використовуючи крапки геодезичної зйомки, крапки із планшетів, векторизовані горизонталі, структурні лінії різних типів.

Продукт повинен забезпечувати роботу всіх учасників проекту в єдиному інформаційному середовищі, що дозволяє поліпшити взаємодію між різними організаціями й підрозділами.

Інформацію про всіх спроектованих 3D-об'єктах необхідно зберігати в базі даних проекту. При цьому потрібен зручний засіб для їхньої візуалізації.

У цей час на ринку програмних продуктів є безліч систем, що дозволяють автоматизувати процес планування будівництва й побудувати віртуальну модель майбутньої забудови, а також управляти БДМ.

Розглянемо декілька з них. Модуль Полевих Даних Terramodel (FDM) - початковий рівень системи Terramodel [190-196] . FDM стандартно поставляється з усіма тахеометрами Trimble і надає безліч функцій підтримки, керування даними й для додатків.

Дані можуть бути передані з інструментів Trimble на додаток до різноманітних інструментів інших виробників і програмних систем.

Передбачено наступні функції: обчислення, перегляд і аналіз геодезичних даних, попередній перегляд графіки, креслення проекту зйомки, генерація звіту й запити даних.

FDM може бути модернізований за допомогою додавання інших модулів Terramodel для рішення різноманітних геодезичних завдань. Засоби CAD редагування включають вирізку, продовження, приєднання, підключення, розбивку, переміщення, обертання й зсув.

Інтелектуальні засоби цифрового моделювання заощаджують час, автоматизуючи створення ЦММ (цифрова модель місцевості).

Склад ЦММ: кожний шар може бути незалежною цифровою моделлю; кілька шарів можуть бути згруповані для формування багатошарової ЦММ;

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

побудова за один крок криволінійних горизонталей; швидка побудова профілів для оцінки місцевості; 3D візуалізація моделі поверхні; обчислення площі поверхні; вимір обсягів може бути зроблено між двома ЦММ; terramodel автоматично створює вид поперечника й табличний шар з декількох креслень поперечників; підземні й наземні об'єкти можуть бути автоматично розміщені на кресленнях поперечників - наприклад, труби, кабелі й т.п.

Система Leica ConX дозволяє відслідковувати робочий процес у режимі реального часу за допомогою будь-якого пристрою.

Дані візуалізують, обробляють за допомогою хмарного рішення й вебінтерфейсу.

Leica ConX дозволяє візуалізувати і перевіряти проектні моделі, дані зйомки й хід будівництва за допомогою інструментів аналізу з метою моніторингу й ведення звітності щодо продуктивності ділянки (рисунок 8).

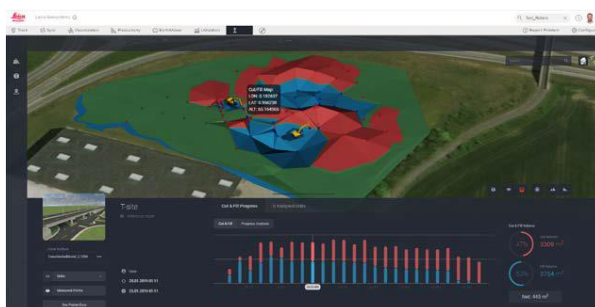


Рисунок 8 - Інструментарій Leica ConX

Для підвищення інформативності операторів машин та робітників робочої ділянки створене безпечне робітниче середовище Leica PA10 (рисунок 9).



Рисунок 9 - Інструментарій PA10

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

РА10 - система виявлення небезпечного зближення об'єктів, що надає інформацію про робітників навколо транспортних засобів і машин на ділянках для будівництва великих споруджень. Мітка РА забезпечує звукову, візуальну й тактильну навігацію, а анкер забезпечує операторові машини або водієві візуальну й звукову навігацію.

iCON office забезпечує передачу даних з офісу на ділянку будівництва завдяки інтеграції програмного інструментарію у систему Leica ConX. В iCON office можна відобразити доступні машини та їхнє розташування. Інтеграція дозволяє обмінюватися проектними даними безпосередньо між iCON office і встаткуванням на ділянці.

Програма Leica iCON office сумісна із системами керування машинами. Програмне забезпечення підтримує ряд систем керування й вимірювальними датчиками від Leica Geosystems, а також інших виробників: AutoCAD DWG і DXF; IFC; мікростанцій DGN; LandXML; MX / Moss; REB. Опціональний модуль моделі рельєфу місцевості в Leica iCON дозволяє розрахувати обсяг виконуваних робіт на поверхні й на висоті для складання кошторису. Цей модуль дозволяє повністю контролювати моделі поверхні, використовувані для розрахунку, включаючи границі й лінії розриву. Модуль також можна використовувати для створення профілів і ділянок місцевості, формування різних стандартних звітів контролю якості. На додаток до користувальницького інтерфейсу Leica iCON office працює, використовуючи убудований механізм AutoCAD® для відкриття й редагування власних креслень AutoCAD®. HxGN SmartNet - це інтегрована цілодобова GNSS мережа, для забезпечення GNSS і RTK вимірів, побудована на найбільш референтній мережі, що дозволяє пристроям з підтримкою GNSS вимірів, швидко визначити точне місце розташування (рисунок 10 – 11).



# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

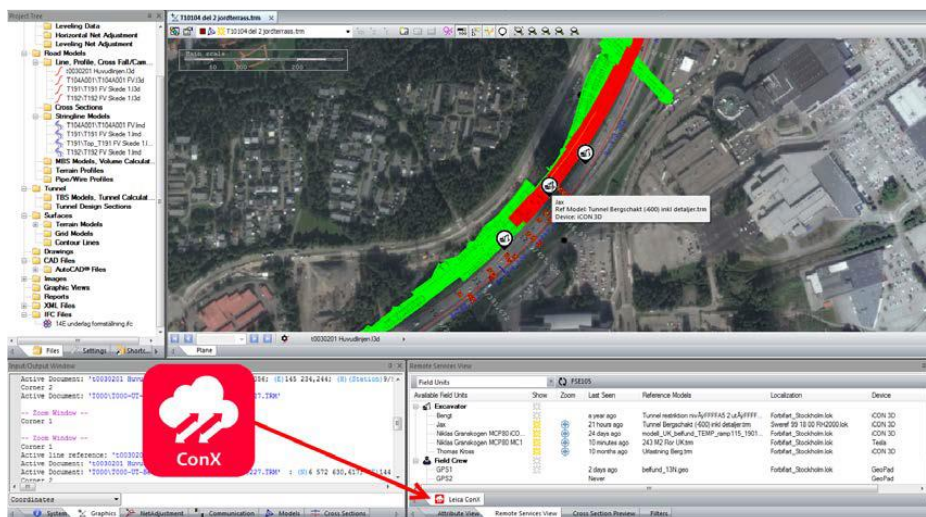


Рисунок 10 - Інструментарій iCON office



Рисунок 11 - Інструментарій HxGN Smartnet

HxGN SmartNet - це служба корекції місця розташування, яку можна використовувати з будь-яким пристроєм ГНСС, її постійно перевіряють на цілісність, доступність і точність. Володіючи більш ніж 4500 референтними станціями на основі технології Leica Geosystems, які забезпечують точність визначення місця розташування в будь-якому додатку, система HxGN SmartNet забезпечує одержання максимально швидких і точних координат.

Програма iCON site призначена для підвищення продуктивності, дозволяє перевірити й визначити роботу на правильній глибині, із правильним профілем,



ухилом або поверхнею. iCON site розроблений для повної інтеграції з будь-якими сенсорами й рішеннями для машин Leica iCON.

Можливість обміну встаткуванням і даними із пристроїв установлених на машинах і поза ними, проектами й персоналом на ділянці, підвищує гнучкість і зменшує можливі простої в роботі. Особливості програми: інформація про проект і статистика в реальному часі на ділянці; мінімізація помилок і доробок; збільшення коефіцієнта використання машини й зниження витрат на паливо; розрахунок точного обсягу ґрунту або інших матеріалів; вимір і калібрування на ділянці; зниження часу простою машини й підвищення продуктивності.

Так як критерії вибору інформаційного інструментарію для вирішення задачі позиціонування робочого органу будівельно-дорожньої машини задані інтервальними значеннями розробимо модель.

Модель вибору інформаційного інструментарію для вирішення задачі позиціонування робочого органу будівельно-дорожньої машини

Введемо змінну  $X_{\sigma cv} = \{0; 1\}$ , де  $X_{\sigma cv} = 1$  – якщо вибрано інструментарій  $c$ -го типу,  $v$ -го виду для виконання  $\sigma$ -ї функції,  $X_{\sigma cv} = 0$  – інакше;  $Y_{\sigma cv} = \{0; 1\}$ , де  $Y_{\sigma cv} = 1$  – якщо  $\sigma$ -ю функцію може забезпечити  $cv$ -е інструментарієм,  $Y_{\sigma cv} = 0$  – інакше [197-198].

Часткові критерії:

– максимальна швидкість виконання  $\sigma$ -ї функції інструментарієм:

$$S_P = \max \sum_{\sigma=1}^{\sigma'} \sum_{c=1}^{c^\sigma} \sum_{v=1}^{v^c} S_{cv} Y_{\sigma cv} X_{\sigma cv} , \quad (1)$$

де  $S_{cv}$  -інтервальна оцінка швидкості виконання  $\sigma$ -ї функції інструментарієм  $c$ -го типу  $v$ -го виду;

– мінімальні вимоги до технічних характеристик персонального комп'ютера

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

$$T_P = \min \sum_{\sigma=1}^{\sigma'} \sum_{c=1}^{c^\sigma} \sum_{v=1}^{v^c} \sum_{\xi=1}^{\xi'} T_{cv\xi} Y_{\sigma cv} X_{\sigma cv}, \quad (2)$$

де  $T_{cv\xi}$  - інтервальна оцінка  $\xi$ -го вимоги програмного засобу  $c$ -го типу  $v$ -го виду до технічних характеристик персонального комп'ютера;  
 – мінімальна вартість інструментарію

$$C_P = \min \sum_{\sigma=1}^{\sigma'} \sum_{c=1}^{c^\sigma} \sum_{v=1}^{v^c} C_{\sigma cv} Y_{\sigma cv} X_{\sigma cv}, \quad (3)$$

де  $C_{\sigma cv}$  – інтервальна оцінка вартості інструментарію  $c$ -го типу  $v$ -го виду для виконання  $\sigma$ -ї функції.

Обмеження:

– виконання всіх функцій має бути забезпечене інструментарієм

$$\sum_{\sigma=1}^{\sigma'} \sum_{c=1}^{c^\sigma} \sum_{v=1}^{v^c} Y_{\sigma cv} X_{\sigma cv} = \sigma'; \quad (4)$$

– вимоги  $cv$ -го інструментарію до  $\xi$ -ї технічної характеристики персонального комп'ютера при виконанні  $\sigma$ -ої функції повинні не перевищувати заданих  $T_{\sigma\xi}^0$

$$T_{cv\xi} Y_{\sigma cv} X_{\sigma cv} \leq T_{\sigma\xi}^0; \quad c = \overline{1, c^\sigma}; \quad v = \overline{1, v^c}; \quad \xi = \overline{1, \xi'}; \quad \sigma = \overline{1, \sigma'}; \quad (6)$$

– вартість інструментарію має бути не більше  $C_P^0$

$$\sum_{\sigma=1}^{\sigma'} \sum_{c=1}^{c^{\sigma}} \sum_{v=1}^{v^c} C_{\sigma cv} Y_{\sigma cv} X_{\sigma cv} \leq C_p^0 . \quad (7)$$

– усі вибрані інструментарії мають бути сумісні

$$W_{cg} X_c X_g = 1 ; c = \overline{1, c_{\sigma} - 1} ; g = \overline{c + 1, c_{\sigma}} ; \forall W_{cg} = 1 , \quad (8)$$

де  $W_{cg} = \{0; 1\}$ ,  $W_{cg} = 1$ , якщо  $c$ -е програмний засіб сумісний з  $g$ -м програмним засобом, інакше  $W_{cg} = 0$ .

Модель (1) - (8) відноситься до завдань багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними.

Рішення про вибір технічних засобів прийматиметься на основі критерію Гурвіца [198]. Відповідно, буде дано рішення за оптимістичного та песимістичного сценаріїв розвитку.

#### Висновки за розділом

Поставлені вимоги, які повинна виконувати інформаційна система для вибору дорожньо-будівельних машин з декількох джерел.

Проаналізовано сучасні технології розробки баз даних та засобів програмування.

Розроблено інформаційну систему вибору дорожньо-будівельних машин з джерел на основі замовлення користувача. Система включає в себе таблиці бази даних, форми введення і пошуку інформації та засоби формування звітів.

Проаналізовано інформаційний інструментарій для вирішення задачі позиціонування робочого органу будівельно-дорожньої машини та розроблено модель вибору інформаційного інструментарію для вирішення задачі позиціонування робочого органу будівельно-дорожньої машини, що дозволить приймати науково-обґрунтовані рішення.

## **2.6 Науково-методичні рекомендації щодо використання електронного посібника “Курс стрільб” та “Будова АК74” інтерактивного навчально-тренувального комплексу “Учись влучно стріляти”**

Інтерактивний тренажер “Учись влучно стріляти” розроблено для більш якісної підготовки даних для стрільби з можливістю відтворення траєкторії польоту кулі у просторі з урахуванням балістичних даних зброї та погодних умов.

Програмне забезпечення (ПЗ), що пропонується, дозволяє вирішувати завдання, пов’язані з вибором прицілу, точки прицілювання та моменту відкриття вогню, виходячи з даних про вид зброї з якої виконується стрільба, розмірів цілі, метеорологічних умов (напрямку та сили вітру), напрямку та швидкості руху цілі, тощо. Моделювання процесу пострілу та результатів стрільби зі стрілецької зброї надає можливість наочно споглядати та впливати на процеси, що виникають під час його здійснення, а це значно спрощує навчання особового складу, оскільки надає можливість кожному, хто стріляє, бачити та визначати свої помилки. Воно також проводиться з метою перевірки правильності вибору точки прицілювання та моменту виконання пострілу. Для цього, необхідно задати початкові умови для моделювання, виконати перевірку правильності їх введення та з отриманих результатів зробити висновок. Програма складається з двох частин: симулятора стрільби та поля для виконання розрахунків, причому є можливість виконання розрахунків використовуючи дані отримані в симуляторі [199-201].

Схематичну модель інтерфейсу інтерактивного навчально-тренувального комплексу, яка складається з програмного забезпечення теоретичної та практичної спрямованості, представлено на рис. 1.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Рис. 1. Зовнішній вигляд інтерфейсу навчально-тренувального комплексу

Даний тренажер не потребує ніяких матеріальних і фізичних витрат, що важливо під час дистанційного навчання. Необхідно лише встановити програму на комп'ютер.

Інтерактивний навчально-тренувальний посібник “Курс стрільб” призначений для набуття на базовому рівні навчання особами офіцерського, сержантського та старшинського складу, солдатами та курсантами вищих військових навчальних закладів Збройних Сил України, а також вищих навчальних закладів, які мають у своєму складі військові інститути, факультети військової підготовки, кафедри військової підготовки (ВНП ВНЗ), військових частин Збройних Сил України, початкових навичок щодо вивчення основних розділів та статей “Курсу стрільб зі стрілецької зброї і бойових машин” (КРП 03.032.056 – 2018 (01)) з наочним відображенням послідовності дій під час вирішення вогневих завдань зі стрілецької зброї.

Використання інтерактивного програмного забезпечення дозволяє поєднати теоретичні методи та підходи навчання з практичною діяльністю, а також наданням можливості наочно сприймати матеріал, що вивчається. Практика, що базується на вивченні алгоритму підготовки до виконання вправ стрільб, дозволяє тому, хто навчається, поліпшити розуміння й довести до автоматизму послідовність і швидкість виконання операцій в реальних умовах.

Програмне забезпечення, надає візуалізацію вирішення завдань, які пов'язані з вивченням розділів курсу стрільб, проведенням незалежного тестування, самоосвіти та самоконтролю. Моделювання ж процесу показу мішеней та умовного виконання вправ надає можливість наочно бачити та впливати на процеси послідовності навчання особового складу.

Для маніпулювання моделлю розроблена інтерактивна панель управління з відображенням 9 розділів, додатків і скорочень, які використовуються у Курсі стрільб (рис. 2).

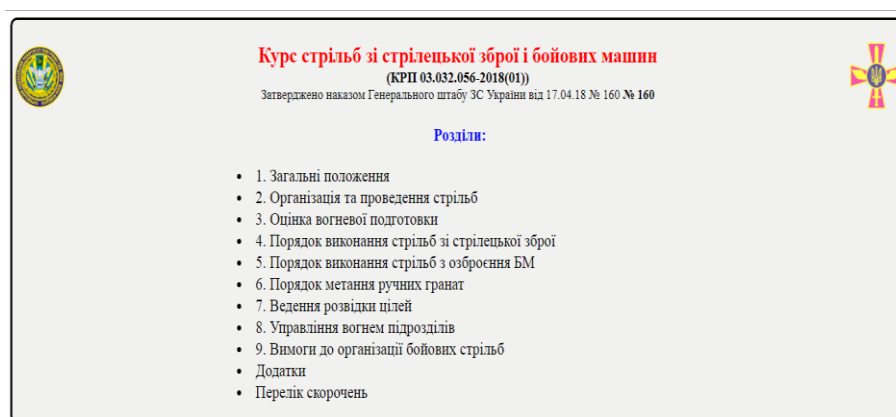


Рис. 2. Вигляд панелі розділів курсу стрільб

Щоб в підрозділі ознайомитись з матеріалом статті або умовами та особливостями виконання вправи, необхідно навести курсор на їх назву і натиснути ліву клавішу миші, з'явиться матеріал даної статті або вправи.

Вигляд матеріалу статті курсу стрільб наведено на рисунку 3.

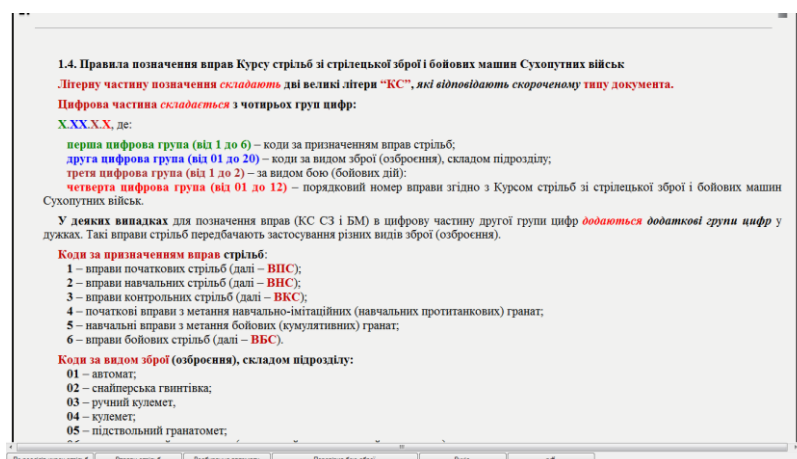



Рис. 3 – Вигляд матеріалу статті курсу стрільб

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Для швидкого зорового сприйняття матеріал, що пропонується для вивчення, має різнокольорову гаму (червоний, синій та інші кольори), також мають виділення вправи стрільб із різних видів СЗ та озброєння БМ, з метання ручних гранат і розвідки цілей, організації та проведенню бойових стрільб. Крім кольорової гама використовується виділення тексту (основної інформації) шрифтом: напівжирним, прямим або курсивом.

Якщо текстовий матеріал підрозділу більший за виділену область вікна, то за рахунок прокрутки колісчатка миші або пересуванням ползка, що знаходиться з правого боку, слід перемістити текст угору чи униз. Для переміщення до наступної сторінки (вперед) слід натиснути стрілку, що розташована з правого боку області вікна, а для переміщення до попередньої сторінки (назад) з лівого боку області вікна. Для повернення до основного меню слід натиснути на .

З метою спрощення засвоєння тими, хто навчається алгоритму послідовності виконання вправ стрільб із СЗ, весь процес навчання розбитий на три етапи, які складаються з відпрацювання наступних операцій:

I – етап. Вивчення умов і особливостей виконання вправи;

II – етап. Ознайомлення з варіантами та часом показу мішеней;

III – етап. Інтерактивне відпрацювання вправи на тренажері.

Розглянемо по чергово кожний етап.

I – етап. Вивчення умов і особливостей виконання вправи.

Процес навчання повинний починатися зі сприйняття (споглядання) тими, кого навчають, предметів, явищ, дій, які слід буде виконати. Наприклад, перед тим як почати вивчення тієї чи іншої вправи, командир підрозділу повинний пояснити умови, порядок і послідовність її виконання спочатку в цілому, а потім вроздріб (за елементами). При цьому ті, кого навчають, слідом за почуттєвим сприйняттям в певній мірі осмислюють і узагальнюють знання, отримані на основі спостереження. Разом з осмислюванням починається і зорове запам'ятовування визначених понять послідовності (алгоритму) дій. Міцність запам'ятовування забезпечується продуманою системою повторення, як у

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

процесі вивчення матеріалу, так і в часи самостійної підготовки та домашніх завдань.

Після вибору вправи, керівник повинен ознайомити підлеглих з її назвою, умовами та особливостями виконання, при цьому не слід забувати нагадувати про заходи безпеки при її виконанні. Матеріал може доводитись за допомогою проекторів та сучасних електронних пристроїв. Для зорового сприйняття і запам'ятовування інформації щодо вправи, використовується кольорова гама і виділення тексту різними шрифтами (рис 4).

**КС 2.01(02-04).1.8**  
Стрільба з місця по цілях, що з'являються та рухаються різними способами

**Цілі:**  
група піхоти, що атакує – *оці ростові фігури* (мішень № 8) на фронті не менше 3 м, що рухаються під кутом 15-25° до площини стрільби зі швидкістю 2-3 м/с на ділянці 60 м;  
вогнева точка – *кулеметна обслуга* (мішень № 10а), що з'являється два рази по 7 с проміжком 10с;  
група піхоти, що відходить – *оці ростові фігури* (мішень № 8) на фронті не менше 3 м, що рухаються під кутом 15-25° до площини стрільби зі швидкістю 2-3 м/с на ділянці 60 м.

Дальності до цілей, (м):

| Вид зброї                      | Цілі                    |               |                            |
|--------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------|
|                                | група піхоти, що атакує | вогнева точка | група піхоти, що відходить |
| Автомат                        | 350-300                 | 300-250       | 350-300                    |
| Ручний кулемет                 | 350-300                 | 350-300       | 350-300                    |
| Кулемет, снайперська гвинтівка | 350-300                 | 400-300       | 350-300                    |

Час на стрільбу: *обмежується часом руху та показу цілей.*  
Кількість боєприпасів:  
*Для кожного виду зброї встановлено ліміт на кількість боєприпасів: 15 штук для автоматичної зброї, 30 штук для ручного кулемета, 10 штук для снайперської гвинтівки.*

Рис. 4. Умови виконання вправи

Розглядаючи або вивчаючи самостійно, умови вправи особливу увагу слід звернути на: цілі, які можуть з'являтися та дальності до них; кількість боєприпасів, які виділені на вправу; режим ведення вогню та положення для стрільби. Після ознайомлення з умовами виконання вправи слід чітко засвоїти: правила стрільби зі стрілецької зброї; послідовність її виконання та заходи безпеки; бойові та балістичні особливості зброї, з якої вона виконується.

Для надання можливості зорового сприйняття послідовності виконання вправи, під час стрільби з місця або з переміщенням, були розроблені схеми розміщення мішеней на умовно-реальному полігоні (рис 5).

При розгляді розміщення мішеней командир підрозділу повинен звернути увагу на розміщення вогневих позицій, напрямок директриси стрільби (основний напрямок стрільби) та знаки, що обмежують межі бокових захисних зон.



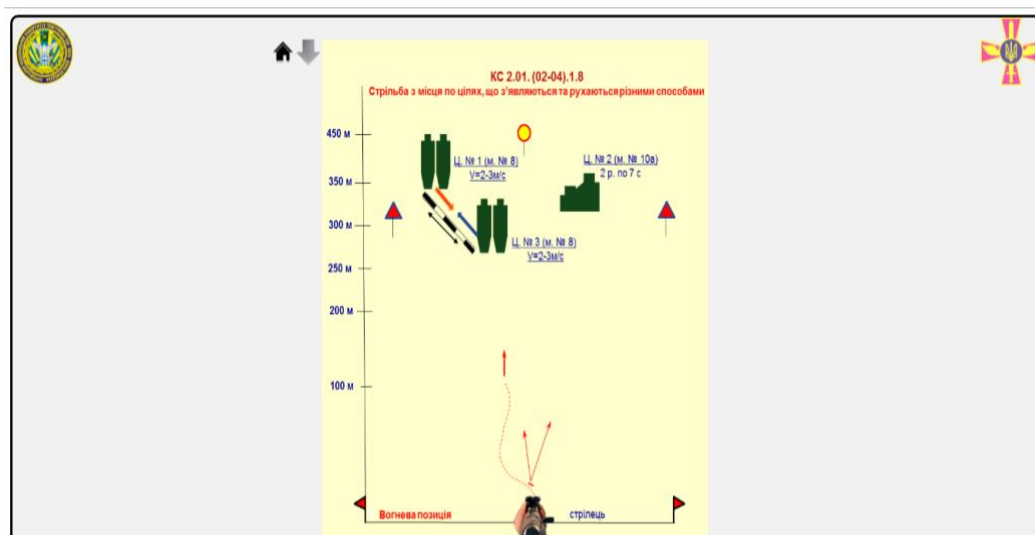


Рис. 5. Схема розміщення мішеней та послідовність виконання вправи

Після ознайомлення з умовами вправи стрільцю надається можливість перейти до II етапу її вивчення – розгляду варіантів показу мішеней.

II – етап. Ознайомлення з варіантами та часом показу мішеней.

Для розуміння умов виконання вправи має значення також пояснення можливих варіантів послідовності показу цілей з розглядом лінійного графіку їх появи та вказуванням відстаней до них (рис. 6).

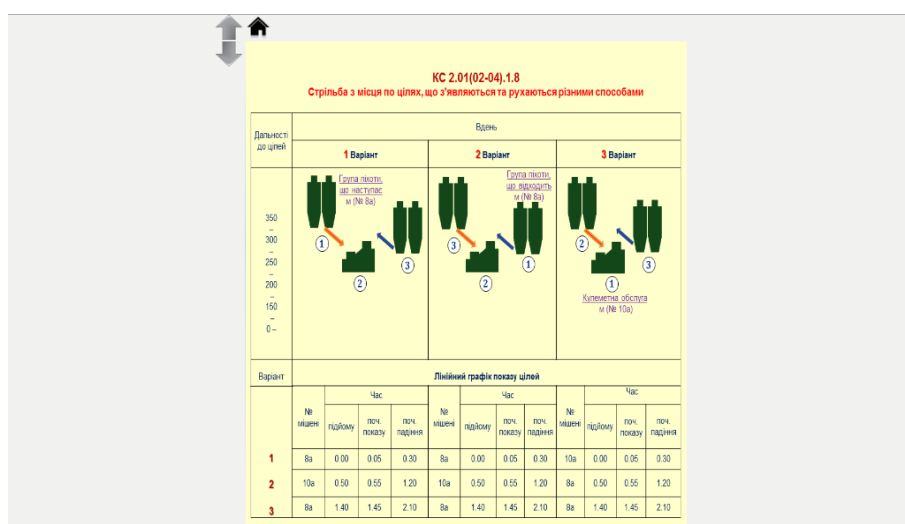


Рис. 6. Лінійний графік варіантів послідовності показу цілей

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Після такого ознайомлення стрілець повинен самостійно прийняти рішення на вибір точки прицілювання у кожному мішені та розподіл необхідної кількості боєприпасів на кожен ціль.

Там, де текстовий і схематичний опис не надають стрільцю повного уявлення про умови та особливості виконання вправи – використання фотографій місцевості з розміщенням цілей на вказаних відстанях значно допоможе йому сформувати фотографічну пам'ять. У наш час одним із нововведень може бути використання відео-презентації, яка зручніша звичайної презентації тим, що надає можливість проводити її дистанційно і під час демонстрації зупиняти показ для пояснення, охоплюючи велику аудиторію з мінімальними витратами ресурсів.

Візуальне сприйняття місцевості та споглядання послідовності виконання вправи на фото- відео- носіях (рис. 7) значно наближає стрільця до реальних умов і тим самим скорочує час на вивчення правильності виконання дій, особливо коли вправа передбачає стрільбу з різних положень, переміщення на вогневі позиції, появу цілей на обмежений час, зміну магазинів тощо.

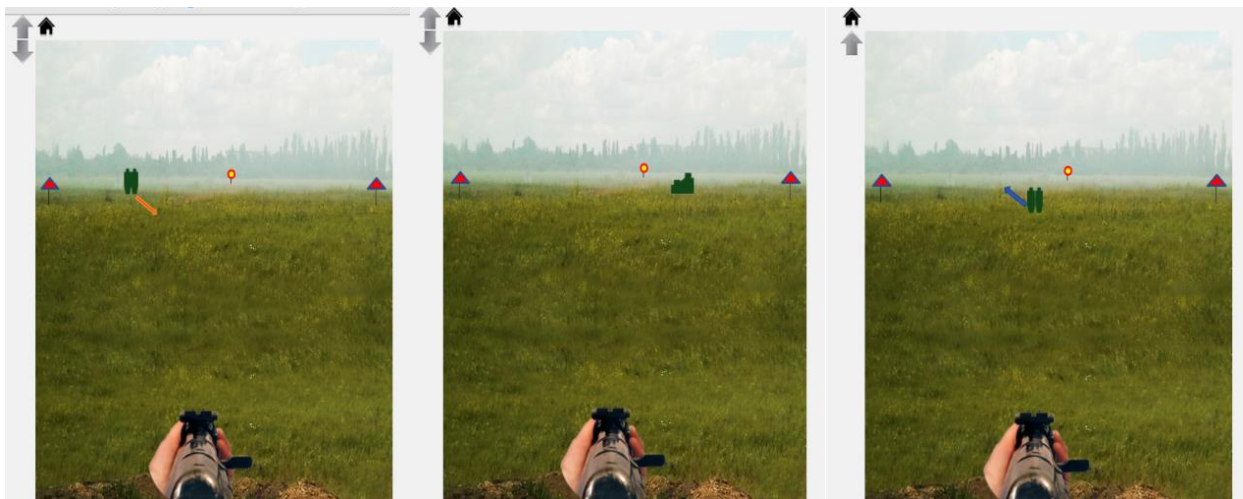


Рис. 7. Фото-презентація виконання вправи

III – етап. Інтерактивне відпрацювання вправи на тренажері.

ПЗ призначене для удосконалення рівня ВП тих, хто навчається. Воно дозволяє вести стрільбу згідно умов вправ, самостійно вибирати умови стрільби

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

та проводити перевірку бою зброї. В ПЗ враховуються балістичні параметри зброї, траєкторія польоту кулі, дальність до цілі та інші умови стрільби. У вправах можуть використовуватись статистичні, ті, що з'являються та ті, що рухаються мішені. Для кожної мішені може задаватись, самостійно або встановлюватись згідно умов вправи: тип мішені, її текстура, положення на мішеному полі, дальність до неї, час показу чи появи, кількість показів, напрямок руху, швидкість та діапазон переміщення. Також є можливість зміни наступних параметрів: час виконання вправи, кількість боєприпасів, режим ведення вогню, видимість мішеней та зміна їх положення на мішеному полі, фон мішеного поля, звуковий фон тощо.

Кожен стрілець повинен бути впевнений, що при правильному введенні рівної мушки у точку прицілювання куля влучить точно у ціль. З цією метою у програмі надається можливість перевірки бою зброї. Так при натисканні на клавішу “Перевірка бою зброї” з'являється вигляд полігону з встановленою, згідно умов перевірки, перевіркою мішенню та надається можливість зробити чотири постріли (рис. 8).



Рис. 8. Перевірка бою зброї

Для огляду результатів стрільби слід натиснути кнопку “Показати результат”. На екрані з'явиться перевірна мішень з пробоїнами та вказаними координатами кожного влучення (рис. 9). Згідно цих результатів стрілець може

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

бути впевнений у балістичних даних зброї та правильності його прицілювання, що надає впевненість у подальшій стрільбі.

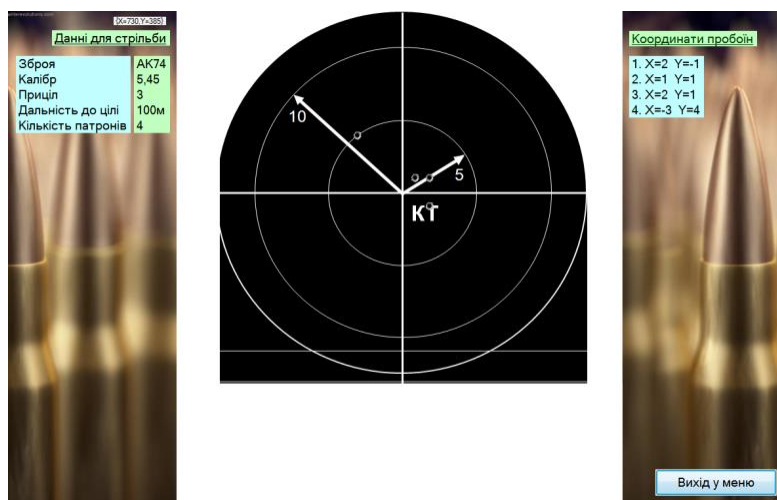


Рис. 9. Огляд результатів стрільби

З метою наближення результатів стрільби на тренажері до реальної стрільби були розраховані математичні моделі траєкторії польоту кулі для різних видів зброї при різних прицілах, тому відповідно встановленому прицілу та відстані до цілі точка влучення завжди відповідає реальній стрільбі.

Новим винаходом доведення інформації, яку ми використали у своїй роботі, є переклад матеріалу Курсу стрільб на машинний язык HTML.

HTML (Hypertext Markup Language) – мова гіпертекстової розмітки, яка каже браузеру, як відобразити сторінку, яку ви відвідуєте. Це дозволяє використання мобільних (переносних) планшетів і смартфонів, та доступ цих носіїв до інформації через інтернет.

Текст HTML без стилістичних і структурних пошкоджень відображається на обладнанні, що має різне технічне оснащення (кольоровий екран комп'ютера, монохромний екран органайзера, обмежений за розмірами екран мобільного телефону або пристрою для програми голосового відображення тексту). Тому текстові документи, що мають розмітку на язиці HTML відображають документ у вигляді зручному для розгляду та виводу на інші зовнішні пристрої.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Вигляд текстового та схематичного матеріалу на смартфоні зображено на рис. 10.

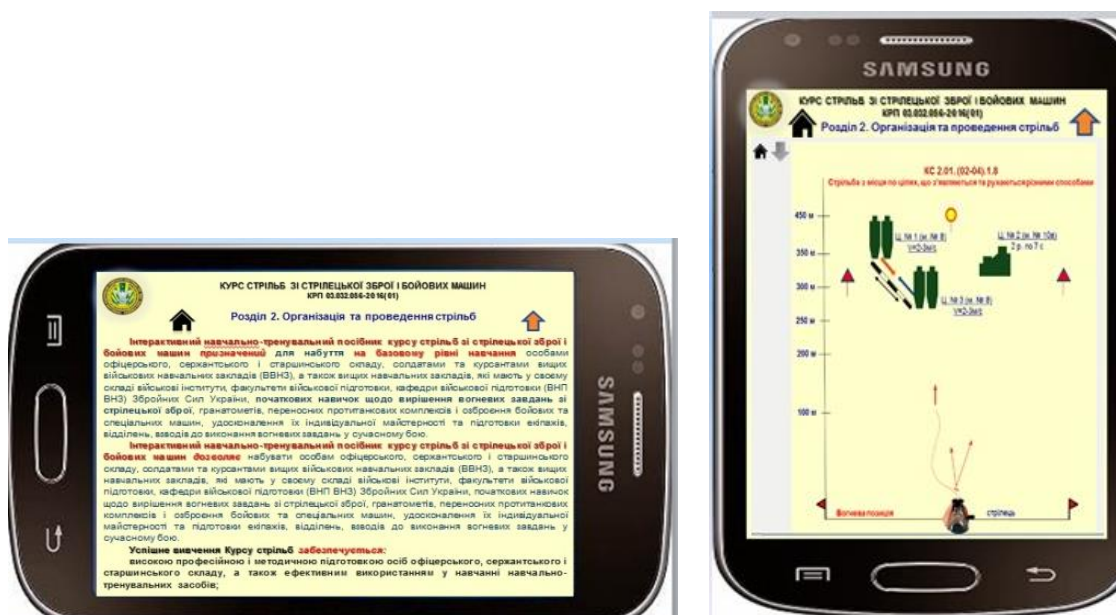


Рис. 10. Вигляд текстового та схематичного матеріалу на смартфоні

Пояснення щодо роботи з навчальним матеріалом даного інтерактивного посібника наведений також у розділі "Інструкції" що розташований на інтерфейсі ІНТК.

Ми сподіваємося, що даний інтерактивний посібник "Курс стрільб" і тренажер "Перевірка бою зброї", за рахунок зорового сприйняття та відпрацювання практичних дій, спростить процес підготовки стрільців до виконання вправ стрільб.

Інтерактивний навчальний посібник "Будова АК74" розроблено з метою: більш якісного вивчення тими, хто навчається будови автомата та удосконалення методики проведення занять з ВП науково-педагогічними працівниками. Теоретичний і довідковий інтерактивний матеріал розділів дозволяє більш поглиблено вивчати влаштування та будову автомата.

Посібник має 10 розділів, кожен з яких поділено на підрозділи. Для більшої наочності та кращого засвоєння навчальний матеріал посібника виконано у



вигляді слайдів і відеороликів. При наведенні курсору миші на розділ, що знаходиться у лівій частині екрану (рис. 11), висвічується назва навчального матеріалу даного підрозділу. Для доступу до потрібного матеріалу слід натиснути ліву клавішу миші на назві матеріалу. Перехід на наступну або попередню сторінку в межах підрозділу здійснюється натисканням на клавіші, що розташовані вгорі слайду. Вихід до каталогу розділів здійснюється натисканням на клавішу “Меню”, яка знаходиться у правому нижньому куті.

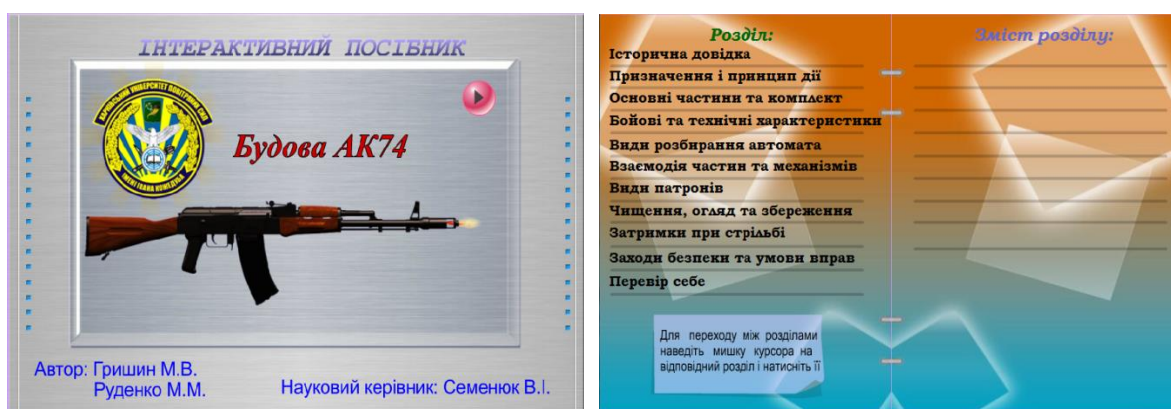


Рис. 11. Титул і зміст розділів

Матеріал підрозділів посібника підібрано і розміщено так, щоб користувачу надати максимальну простоту та наочність при вивченні загальних положень влаштування автомата.

Вивчаючи зброю слід згадати і про її конструктора, тому перший розділ посібника присвячений біографії конструктора-зброяра Михайла Тимофійовича Калашникова, який є яскравою сторінкою в історії створення цілого комплексу стрілецької зброї. В розділі також наведена історія створення першого автомата В.Г. Федорова (1913) та автоматів Калашникова: АК-47 (1947), АКМ (1959) під 7,62-мм патрон зразка 1943 року, їх подальші модернізації АК74 (1974) та АК74М під патрон калібру 5,45-мм, згадується про АК сотої серії (чорний Калашников) та невідомі розробки М.Т. Калашникова. Надана інформація про АК107 (АК108) та перспективи подальшого розвитку – серію автоматів п'ятого покоління – двохсотої серії, під назвою АК12 (рис. 12).

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Рис. 12. Біографія М.Т. Калашникова і види зброї

При розробці другого розділу призначення автомата АК74, основна увага була звернута на те, що автомат це індивідуальна зброя з газовим двигуном автоматики та магазинною подачею патронів. В розділі розглядається також положення перевідника при автоматичній "АВ" та одиночній "ОД" стрільбі.

Для чіткого зорового сприйняття та розуміння принципу дії автоматики, використовуються відеоролики, які виконані з використанням технологій програми 3D моделей і мають звукове супроводження (рис. 13).

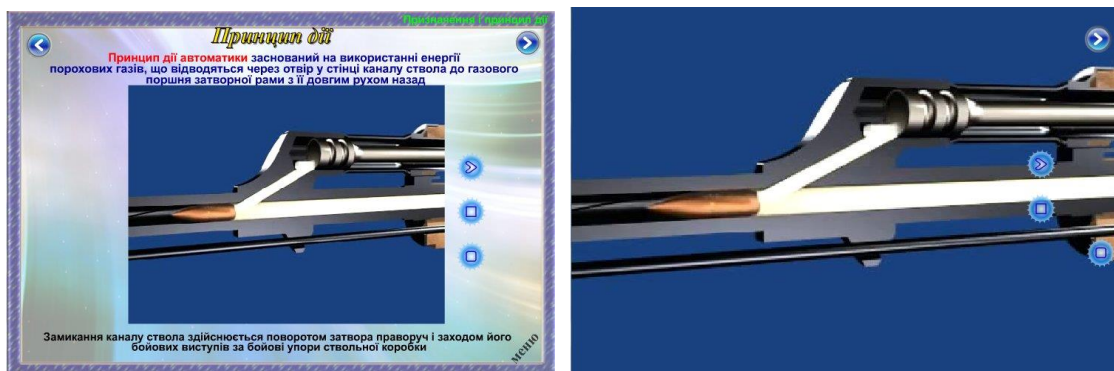


Рис. 13. Принцип дії автоматики

Так, при розгляді руху кулі по каналу ствола є можливість збільшення зображення на весь екран і зупинки його для пояснення процесу дії порохових газів на газовий поршень. Є також можливість розгляду повного циклу роботи

частин автомата під час пострілу, при русі рухомих частин назад і вперед. Для зорового сприйняття інформації, зверху та знизу на відеороликах є коротке пояснення процесів, які на них виконуються.

При вивченні загальної будови та бойових характеристик АК74 основну увагу слід звернути на те, що автомат має 11 основних частин і механізмів (на слайді вони підписані червоним кольором). Чітко розібратися та визначити, що входить у комплект автомата, а що у комплект приладдя (на слайді його частини підписані синім кольором). Для наочного сприйняття інформації, інтерактивний слайд основних частин автомата виконано так, що при наведенні курсору та натисканні миші на основну частину, з'являється новий слайд з призначенням цієї деталі та написом її влаштування. Під малюнком основної частини розташовані цифри, які надають можливість переходу до докладного розгляду цієї деталі у збільшеному графічному та натуральному вигляді (рис. 14).

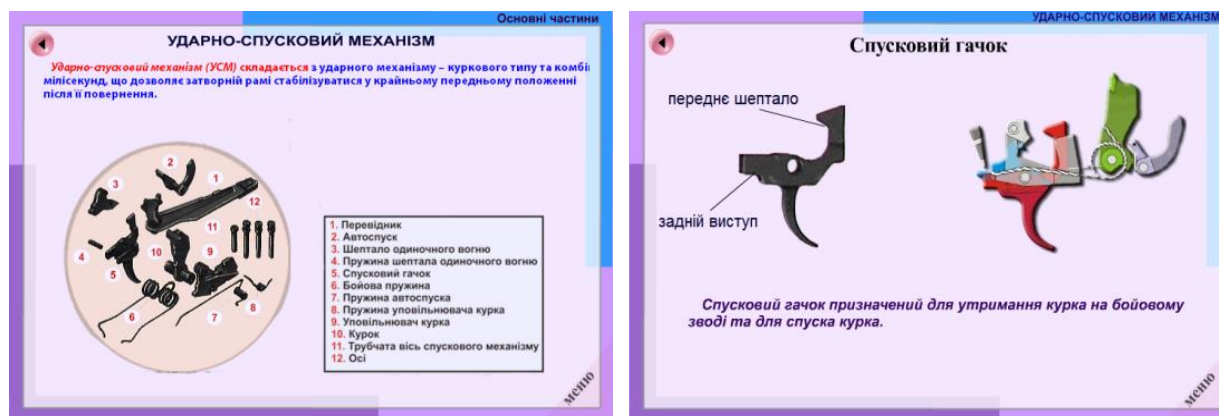


Рис. 14. Основні частини та їх призначення

Для кращого засвоєння матеріалу слід пов'язувати назву основної частини з принципом роботи автоматики, її призначенням і розташуванням. Для цього у ПЗ передбачене переміщення до наступного слайду, який надає більш сприятливу уяву її місця знаходження і призначення. Так, при натисканні курсору миші на спусковий гачок (рис. 15 а), з'являється наступний слайд, який дозволяє при наведенні на деталь збільшувати її величину, а при натисканні на



спусковий гачок на малюнку (рис. 15 б) виконується взаємодія всіх частин ударно-спускового механізму (УСМ).



а

б

Рис. 15 Частини ударно-спускового механізму:

а – ударно-спусковий механізм, б – спусковий гачок

Вивчення бойових характеристик пов'язане з основами стрільби і тактикою застосування зброї, тобто її можливостями уражати цілі на різних відстанях. З метою повторення і більш якісного засвоєння визначень основ стрільби у посібнику передбачено розкриття визначення бойових характеристик таких як: калібр, прицільна дальність, дальність прямого пострілу, бойова швидкострільність, темп стрільби тощо, для цього при наведенні на вибрану характеристику на екрані з'являється її малюнок і опис з поясненням (рис. 16).

Бойові та технічні характеристики

**Бойові характеристики**

| Найменування характеристик    | АК74    | АКМ     | АК-47  |
|-------------------------------|---------|---------|--------|
| Калібр, мм                    | 5,45    | 7,62    | 7,62   |
| Кількість нарізів, шт         | 4       | 4       | 4      |
| Початкова швидкість кулі, м/с | 900     | 715     | 710    |
| Прицільна дальність, м        | до 1000 | до 1000 | до 800 |
| Дальність прямого пострілу, м | до 1000 | до 1000 | до 800 |
| Місткість магазину, патронів  | 30      | 30      | 30     |

**Нарізи** – це, гвинтові поглиблення, які проходять поздож каналу ствола зброї.  
**Поля** – це, відстані у каналі ствола зброї між сумісними нарізами, які не зачеплені нарізкою.

Вони призначені для створення високого тиску у патроннику (при малій масі порохового заряду) та надання кулі обертального руху, що забезпечує її стійкість на траєкторії, дальність польоту та кутчастість стрільби.

Нарізка зброї може бути як з права наліво (правостороння), так і зліва направо (лівостороння). Кожен наріз має дві грані та дно. Грань в яку впирається куля при обертанні, називається бойовою, вона видна з казенної частини ствола. Протилежна грань нарізу називається холостого, вона добре видна з дулової частини ствола.

Рис. 16. Бойові характеристики автоматів

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

З метою порівняння бойових характеристик автоматів різних калібрів в таблиці наведені данні для 5,45-мм АК74 та 7,62-мм АКМ і АК-47, що надає змогу користувачу самостійно визначити перевагу даного виду зброї.

Перед вивченням розділу взаємодія частин і механізмів автомата слід твердо засвоїти будову частин та їх призначення, особливу увагу необхідно звернути на частини які рухаються. Знання роботи частин і механізмів дає можливість свідомо розуміти характеристику несправностей, що викликають затримки при стрільбі, та визначати способи їх швидкого усунення. В процесі вивчення роботи частин і механізмів автомата той, хто навчається, повин:

- знати роботу частин і механізмів при: заряджанні, стрільбі (пострілі) та розряджанні;

- уміти пояснити роботу частин і механізмів при пострілі.

При вивченні роботи частин і механізмів автомата основну увагу слід приділяти положенню та роботі затвора, затворної рами з газовим поршнем і частин УСМ. Також слід уяснити коли здійснюється поворот затвора праворуч і його бойові виступи заходять у вирізи ствольної коробки, тобто відбувається глухе замикання затвора та коли затвор починає рухатись назад.

Для наочності матеріал, що пропонується для вивчення роботи частин і механізмів складається із відеороликів, які поділено на етапи:

- I – робота частин і механізмів автомата при заряджанні;

- II – робота частин і механізмів автомата при автоматичній стрільбі;

- III – робота частин і механізмів автомата при одиночній стрільбі.

Відеоролики мають звукове супроводження і під час їх перегляду є можливість зупинки слайду, для цього передбачені кнопки паузи і пуску. Основні моменти на які слід звернути увагу підсвічуються червоним колом.

Робота частин і механізмів автомата наведена на рисунку 17.

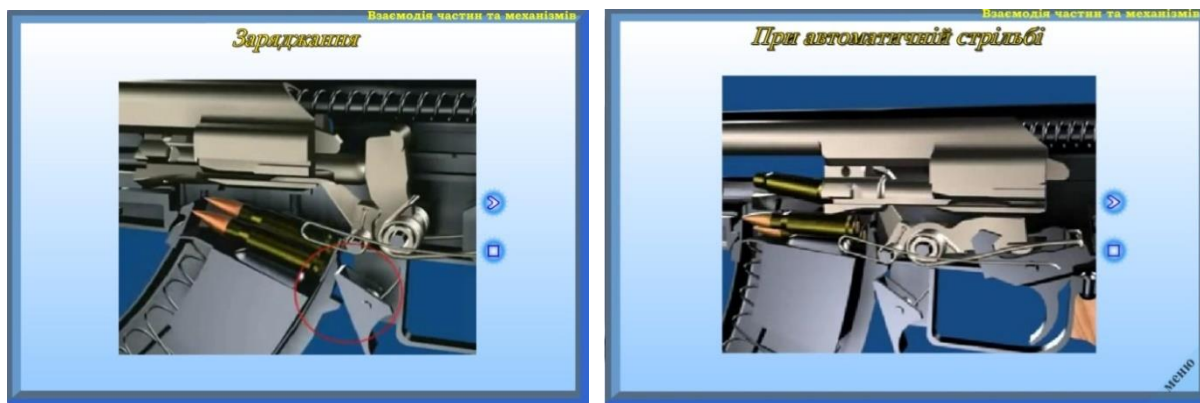


Рис. 17. Робота частин і механізмів автомата

Після вивчення розділу види боєприпасів, слід знати їх призначення, заходи безпеки поводження з ними та правила їх зберігання.

Вивчення проводиться у наступному порядку:

- види боєприпасів для стрілецької зброї;
- загальна будова патрона і його бойові характеристики;
- маркування, фарбування та індексація боєприпасів.

Вивчення будови патрона слід починати з визначення його призначення, характеристики і принципу дії кулі при влученні у ціль, після чого переходити до бойових характеристик (рис. 18).



Рис. 18. Будова патронів до автомата

Переходячи до вивчення маркування, забарвлення та індексації боєприпасів, слід знати, що кожен вид патрону призначений для вирішення певних вогневих завдань і тому має розпізнавальні ознаки. Цими розпізнавальними ознаками є їх маркування, фарбування та індексація. Маркування, наноситься на кулю, гільзу, укладку. Фарбування патронів ділиться

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

на запобіжне і розпізнавальне (фарбується головна частина кулі). Індексація – умовне скорочене позначення зразків озброєння.

Для більш повного ознайомлення з призначенням кожного виду патрона у посібнику представлені 15 найбільш розповсюджених патронів і приведена їх порівняльна характеристика з іноземними зразками (рис. 19).



Рис. 19. Види та призначення патронів до автомата

Методика навчання чищенню та усуненню затримок має на меті навчити правильному зберіганню автомата, послідовності його чищення та змащування, а також швидкому усуненню затримок, які виникають при стрільби. Слід засвоїти порядок зберігання та підготовки автомата до стрільби, порядок проведення його чищення та змащування, періодичність огляду та перевірок.

У ході вивчення порядку чищення та змащування автомата необхідно засвоїти які приладдя і матеріали слід вживати та порядок їх підготовки, призначення мастил, олів та розчинів і порядок їх застосування. Чищення та змащування кожної деталі, вузла і механізму повинно проводитись у порядку, який вказаний у керівництві для даної системи озброєння.

Головна мета навчання усуненню затримок, які виникають під час стрільби – підготовка тих, хто навчається, до забезпечення безвідмовної роботи зброї, що досягається вмінням запобігати затримкам при стрільбі і швидко їх усувати.

Приступаючи до вивчення затримок, що виникають при стрільбі, слід загострити увагу, що наша бойова стрілецька зброя при правильному догляді й дбайливому поводженні з нею є надійною і безвідмовною у бою. Проте, при тривалому використанні зброї, при недбалому поводженні з нею, при забрудненні частин і механізмів, а також при несправності або забрудненні

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

бойових патронів можуть виникати затримки при стрільбі, які зведені у таблицю (рис. 20).

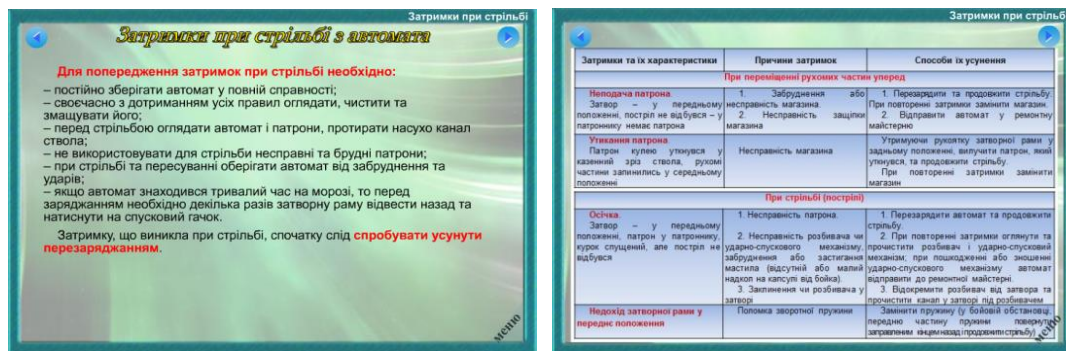


Рис. 20. Види затримок при стрільбі з автомата

Для кращого засвоєння затримок при стрільбі з будь-якого виду зброї їх слід поділити на три групи:

- ті, що виникають при русі рухомих частин вперед (заряджанні зброї);
- ті, що виникають при стрільбі (пострілі);
- ті, що виникають при русі рухомих частин назад (перезарядженні та розрядженні зброї).

Слід пам'ятати, що основним способом усунення затримок при стрільбі є перезарядження зброї. Якщо цим способом затримка не усувається, необхідно з'ясувати її характер і причину, а потім вже приступити до усунення.

Якщо затримка виникла під час проведення стрільб, то той, хто виконує стрільбу, повинен миттєво припинити натискання на спусковий гачок і доповісти керівнику стрільби.

Кожна людина, яка тримає зброю, повинна беззаперечно та точно виконувати всі правила та вимоги заходів безпеки поведінки з нею.

Перш за все слід звернути увагу, що безпека під час стрільби досягається чіткою організацією стрільб, точним дотриманням правил і вимог безпеки, високою дисциплінованістю всіх тих, хто стріляє та керує.

До виконання вправ стрільб допускаються лише ті особи, які вивчили матеріальну частину зброї та боєприпасів, вимоги заходів безпеки, основи і правила стрільби, умови виконання вправи та склали залік. Особи, які не склали залік, до стрільби не допускаються (рис. 21).





Рис. 21. Заходи безпеки при стрільбі з автомата

Після вивчення даного розділу той, хто навчається, повинен чітко засвоїти: порядок огляду зброї при її отриманні; що категорично забороняється при стрільбі та поводженні зі зброєю; коли і за якою командою припиняється стрільба; коли, де і за чиєю командою дозволяється заряджати зброю; за якою командою зброя розряджається і що при цьому слід робити.

Умови та послідовність виконання вправ стрільб викладені у Курсі стрільб зі стрілецької зброї, де також визначені особи, що призначаються для обслуговування та проведення стрільб.

При проведенні стрільб слід додатково керуватися положеннями щодо вимог безпеки, викладених у Положенні зі служби полігонів ЗС України.

Результати впровадження у навчальний процес передових підходів щодо методики навчання підтверджені обліковими таблицями експериментальних досліджень і проведених перевірок, які визначають ефективність використання програмного забезпечення інтерактивного навчально-тренувального комплексу у навчальному процесі і тому він може бути корисним для використання у вищих військових навчальних закладах під час навчання курсантів і громадян, які навчаються за програмою підготовки офіцерів запасу за контрактом; військах, при підготовці солдат та спеціалістів, служба яких пов'язана зі стрілецькою зброєю; а також допризовної молоді середніх навчальних закладів під час вивчення предмету “Захист Вітчизни”.

## **2.7 Недерміновані генератори випадкових бітів на основі стандарту ISO/IEC 18031:2005**

Міжнародний стандарт ISO/IEC 18031:2005 – Information technology – Security techniques – Random bit generation (Інформаційні технології – Методи захисту – Генерація випадкових бітів) [202] встановлює обов'язкові вимоги, яких необхідно дотримуватися при розробці генераторів випадкових бітів для криптографічних застосувань.

Ці криптографічні застосування включають наступне [203]:

- випадкові ключі і значення ініціалізації для шифрування;
- випадкові особові ключі для алгоритмів цифрового підпису;
- випадкові значення, які використовуються в механізмах аутентифікації об'єктів;
- генерація випадкових PIN, паролів та ін.

Стандарт ISO/IEC 18031:2005 визначає два типи генераторів: недерміновані і детерміновані генератори випадкових бітів [202,203].

**Недетермінований генератор випадкових бітів** – НГВБ (non deterministic random bit generator – NRBG) – це механізм генерації випадкових бітів, який використовує джерело ентропії (джерело невизначеності) для генерації випадкового потоку бітів (випадкових послідовностей).

**Детермінований генератор випадкових бітів** – ДГВБ (deterministic random bit generator – DRBG) – це механізм генерації бітів, який використовує детерміновані алгоритми, такі як криптографічні алгоритми, на джерелі ентропії для генерації випадкового потоку бітів (випадкових послідовностей). У цьому типі генерації бітів використовується особливі вхідні дані (початкові значення) і, можливо, деякі необов'язкові вхідні дані, які можуть (чи не можуть) бути загальнодоступними.

Необхідні властивості випадковості можливо досліджувати, використовуючи приклад підкидання монети. Результатом кожного підкидання монети є:

1. **Непередбачуваність:** перед підкиданням невідомо, якою стороною приземлиться монета, «орлом» або «ешкою». Також, якщо підкидання монети тримається в таємниці, то неможливо визначити результат підкидання, навіть за умови, якщо відомі наступні результати підкидання;

2. **Незміщеність:** кожен потенційний результат має одну і ту ж імовірність появи. При рівній імовірності результатів ентропія (непередбачуваність) результатів експерименту буде максимальною;

3. **Незалежність:** підкидання монети вважається некорельованим без пам'яті або без хронології – що б не сталося перед процесом підкидання монети, це не вплине на процес.

Генератори випадкових бітів, вказані в цьому стандарті, намагаються імітувати серії підкидань монети, що ідеалізуються.

Непередбачуваність є необхідною властивістю генератора випадкових бітів (ГВБ). Якщо генератор випадкових бітів правильно реалізований і правильно працює, то неможливо передбачити вихідні дані. Неможливість пророцтва майбутніх вихідних даних (при відомих усіх попередніх випадкових бітах) визначається як **пряма секретність**. Неможливість визначення попередніх вихідних даних ГВБ при відомих існуючих або будь-яких майбутніх вихідних даних ГВБ визначається як **зворотна секретність**.

Обов'язковою вимогою при проектуванні НГВБ є наявність джерела (або джерел) ентропії (entropy source – ES) у вигляді фізичного генератора шуму. З урахуванням кінцевої надійності (тобто імовірність безвідмовної роботи менш одиниці) аналогових фізичних генераторів шуму (джерел ентропії) в стандарті ISO/IEC 18031:2005 введена вимога продовження роботи недетермінованого генератора випадкових бітів (НГВБ) способом, не менш захищеним, ніж детермінований генератор випадкових бітів (ДГВБ), у разі повного збою джерела (або усіх джерел) ентропії.



Стандарт ISO/IEC 18031:2005 не накладає жорсткі обмеження на параметри джерела ентропії. Це джерело може бути зміщеним (тобто імовірність появи нулів і одиниць на виході не обов'язково має бути рівною) і вихідні біти можуть навіть залежати один від одного. Єдина обов'язкова вимога – **джерело ентропії повинне генерувати біти з ненульовою ентропією**.

У обчислювальній техніці джерела ентропії найчастіше реалізують на основі генераторів шуму на кремнієвих діодах із Зенерівським пробоем (стабілітронах). Структурна схема джерела ентропії включає: генератор аналогового шуму на діоді із Зенерівським пробоем (DZ), компаратор (Cmp) для перетворення аналогових сигналів в рівні логічних мікросхем і рахунковий тригер (TC) (рисунок 1).

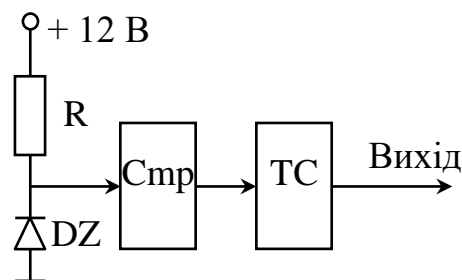


Рисунок 1 – Структура  
источника энтропии

Аналоговий сигнал на діоді із Зенерівським пробоем (DZ) має вигляд коротких імпульсів з випадковими амплітудами, наступними один за одним через випадкові часові інтервали. Компаратор (Cmp) перетворює короткі входні імпульси в сигнали з нормованою амплітудою логічних мікросхем. Ці імпульси подаються на рахунковий тригер (СТ) для вирівнювання імовірності нульових і одиничних логічних рівнів (бітових сигналів) на виході джерела ентропії.

Значною мірою вимогам стандарту ISO/IEC 18031:2005 задовольняє генератор рівномірно розподілених випадкових бітових послідовностей, описаний в декларативному патенті України [204]. Спрощена схема цього генератора наведена на рисунку 2.

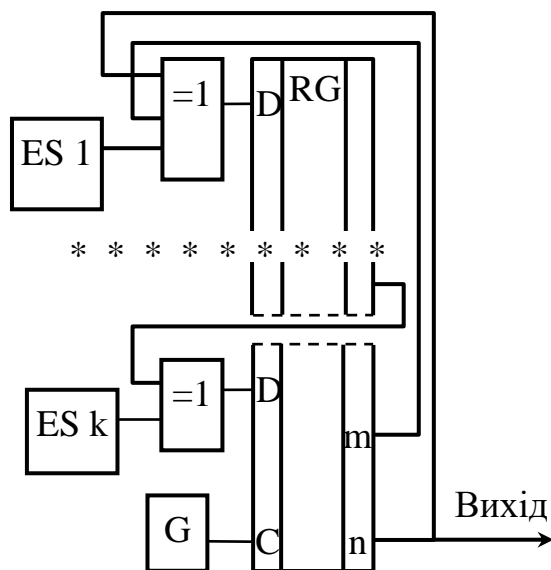


Рисунок 2 – Недетермінований  
генератор випадкових бітів

Оснoву генератора складає лінійний рекурентний реєстр (ЛРР), реалізований на реєстрі зсуву (RG). На інформаційний вхід (D) цього реєстра зсуву подається сигнал з виходу першого елемента «ВИКЛЮЧНЕ АБО» (елементу «XOR»), а до входів цього елемента підключені: останній вихід реєстра зсуву «n» і проміжний вихід цього реєстра «m».

Швидкість формування випадкових бітів визначається частотою тактового генератора (G).

Для того, щоб біти, які генеруються, були насправді випадковими (непередбачуваними, недетермінованими) до додаткового входу першого елемента «XOR» підключено перше джерело ентропії (entropy source – ES 1).

Перший елемент «ВИКЛЮЧНЕ АБО» передає сигнал зворотного зв'язку на вхід D реєстра RG з інверсією (при одиничному сигналі на виході джерела ентропії) або без інверсії (при нульовому вихідному сигналі джерела ентропії). Таким чином, у випадкові моменти часу порушується порядок пересування нульових і одиничних бітів, який визначається параметрами рекуренти ЛРР. Вихідна випадкова бітова послідовність, яку можливо знімати з будь-якого виходу реєстра зсуву, – стає непередбачуваною.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Для підвищення надійності в генератор випадкових бітових послідовностей введені декілька джерел ентропії (див. рисунок 1). Для цього регістр зсуву RG розбитий на  $k$  частин (необов'язково рівних) і на входи кожної частини регістра зсуву подаються сигнали з виходів попередніх частин цього регістра через елементи «ВИКЛЮЧНЕ АБО». Другі входи елементів «XOR» підключені до виходів додаткових джерел ентропії (ES 2...ES  $k$ ).

Таке рішення дозволяє реалізувати «гаряче резервування» джерел ентропії ES, тобто їх паралельну роботу. Вихідні біти НГВБ залишаються випадковими (непередбачуваними) при справній роботі хоч би одного джерела ентропії (на виходах інших несправних джерел може бути «логічний нуль» або «логічна одиниця», тобто ентропія несправних джерел дорівнює нулю). Імовірність одночасного збою усіх джерел ентропії в цій схемі дуже мала і дорівнює добутку імовірностей збою кожного окремого джерела ентропії.

У разі повного збою усіх джерел ентропії такий генератор продовжує працювати як лінійний рекурентний регістр (ЛРР), тобто детермінований генератор псевдовипадкових послідовностей.

Відомі математичні алгоритми (наприклад, алгоритм Берлекемпа-Месі) дозволяють розрахувати основні параметри рекуренти ЛРР – « $m$ » і « $n$ » за результатами спостереження вихідної бітової послідовності, тривалість якої в 2 рази перевищує розрядність регістра зсуву « $n$ ». Тому криптостійкість такого генератора (тобто стійкість проти хакерських атак) при повному збої усіх джерел ентропії є недостатньою.

Існує декілька методів проектування детермінованих генераторів випадкових бітів, які руйнують лінійні властивості ЛРР і тим самим роблять такі системи криптографічний стійкішими:

- використання нелінійної функції, що об'єднує виходи декількох ЛРР (генератор Геффа та ін.);
- використання виходу одного ЛРР для управління синхросигналами іншого (чи декількох) ЛРР (алгоритм А5 та ін.);

- динамічна зміна параметрів рекуренти (довжини регістра « $n$ » і номерів відводів « $m$ ») в процесі формування випадкових бітів, – так звані динамічні лінійні рекурентні регістри (ДЛРР).

Таке технічне рішення запропоноване в патенті [205]. На малюнку 3 наведена спрощена структурна схема цього пристрою.

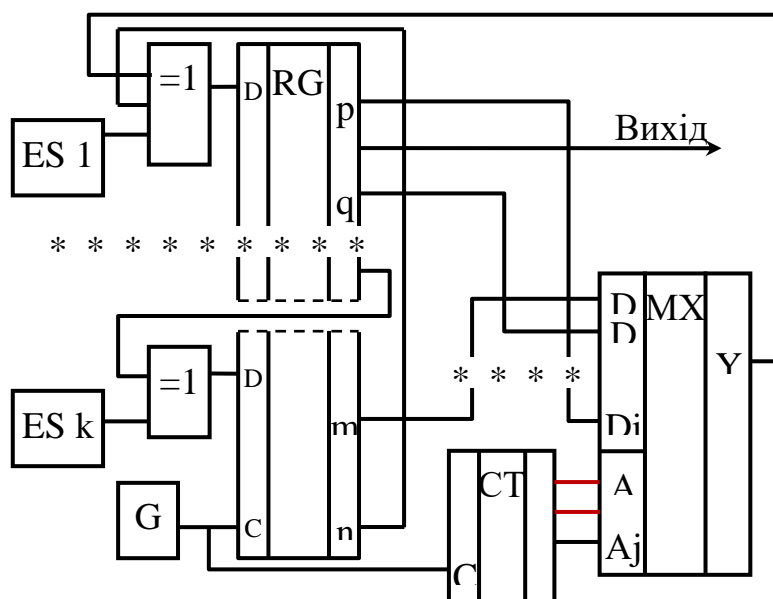


Рисунок 3 – Недетермінований генератор

випадкових бітів зі зміною параметрів рекуренти

На інформаційні входи ( $D1...Di$ ) мультиплексора (MX) подаються сигнали з відводів регістра зсуву ЛЛР (RG). Номери усіх відводів повинні задовольняти відомій умові для ЛЛР [203]: поліном, який обчислюється на коефіцієнтах :  $1 + x^m + x^n$  – має бути примітивним і неприведеним над полем Галуа.

Наприклад, для регістра зсуву (RG) з кількістю розрядів  $n = 71$  цій умові задовольняють номери відводів ( $p, q \dots m$ ) : 6, 9, 18, 20, 35, 36, 51, 53, 62, 65 [203]. Для такого регістра зсуву з кількістю розрядів  $n = 71$  і частоті формування псевдовипадкових бітів  $10 \div 20$  Мгц період повторення буде більше мільйона років, тобто періодичність такого ЛРР – практично нескінченна.

На адресні входи мультиплексора ( $A1...Aj$ ) подаються вихідні сигнали старших розрядів двійкового лічильника (СТ). Кількість молодших розрядів

лічильника визначає інтервал часу між змінами параметрів рекуренти. Зазвичай цей інтервал менше часу генерації  $2n$  вихідних випадкових бітів ( $t_{2n} = 2n / F_G$ , де:  $F_G$  – частота синхрогенератора G) в 5...10 разів. Така умова дозволяє за час генерації  $2n$  вихідних випадкових бітів кілька разів поміняти параметр « $m$ » рекуренти ЛРР. Це робить безглуздим застосування алгоритму Берлекемпа-Мессі для розрахунку параметра рекуренти ЛРР.

Кількість адресних входів мультиплексора ( $A_1...A_j$ ) дорівнює двійковому логарифму від кількості інформаційних входів ( $D_1...D_i$ ).

Технічне рішення, запропоноване в патенті [206], дозволяє робити зміну параметрів рекуренти у випадковому порядку. На рисунку 4 наведена структурна схема цього НГВБ.

На адресні входи мультиплексора подаються випадкові коди з виходів паралельного регістра RG2, який запам'ятовує коди з довільних виходів регістра зсуву ЛРР (RG1).

Періодичність зміни кодів в паралельному регістрі RG2 визначається вихідним сигналом дільника з коефіцієнтом ділення, що програмується, (ДПКД) – СТ (рисунк 4). Коефіцієнт ділення визначається випадковими кодами, які знімаються з довільних виходів регістра зсуву ЛРР (RG1).

Для поліпшення статистичних властивостей вихідної випадкової бітової послідовності (конкретно: рівноймовірності і автокореляційної функції) декілька виходів ЛРР об'єднуються елементом «ВИКЛЮЧНЕ АБО» [203]. Вихід цього елементу є виходом недетермінованого генератора випадкових бітів.

У простішому варіанті (дивися патент [207]) інтервал часу для зміни кодів в паралельному регістрі RG2 задається лічильником СТ з постійним коефіцієнтом ділення. Цей коефіцієнт ділення має бути у декілька разів менше, ніж подвоєна розрядність регістра ЛРР –  $2n$ .

Кожен з цих недетермінованих генераторів випадкових бітів реалізований на одній логічній інтегральній схемі, що програмується, (ПЛІС) з кількістю тригерних комірок не менше 256.

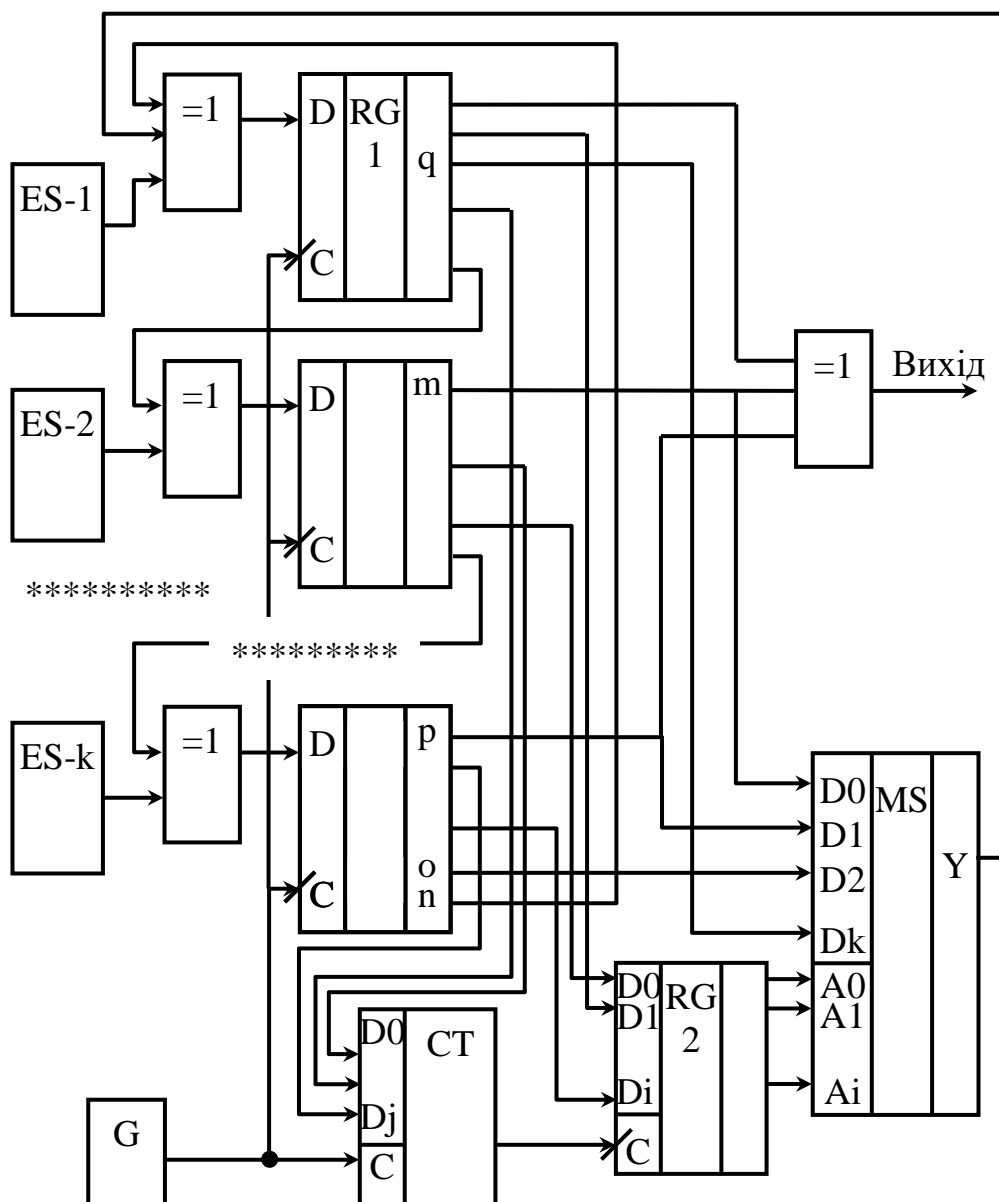


Рисунок 4 – Недетермінований генератор випадкових бітів зі зміною параметрів рекуренти у випадковому порядку

Аналогові складові джерел ентропії (діоди Зенера і компаратори) реалізовані на окремих елементах.

Усередині ПЛІС реалізовані також схеми контролю справності кожного джерела ентропії. При несправності усіх джерел ентропії робота НГВБ блокується і видається окремий сигнал «помилка».

Максимальна частота формування вихідних випадкових бітів визначається максимальною частотою роботи ПЛІС. Для сучасних ПЛІС ця частота може досягати десятків або сотень МГц.

Вихідні випадкові бітові послідовності кожного НГВБ проходили технологічне тестування [203]. Вибірка випадкової бітової послідовності завдовжки 8 Мбіт тестувалася п'ятьма тестами:

- монобітний тест (тест на рівномірність випадкових бітів),
- тест Покеру (тест на рівномірність появи блоків по 8 біт),
- автокореляційний тест і
- тест серій (тести на незалежність),
- тест довжини серій.

Час технологічного тестування на сучасних комп'ютерах не перевищує 1 сек.

Одноразове непопадання результатів одного з тестів в задані довірчі інтервали не може кваліфікуватися як непроходження тесту, тому що довірча імовірність події – попадання результатів тестування в довірчий інтервал – завжди менше одиниці (зазвичай обирається в діапазоні 0,95...0,99) [203].

Тільки при регулярному багатократному непопаданні результатів тестування в задані довірчі інтервали можливо стверджувати про невідповідність параметрів НГВБ моделі ідеального генератора випадкових бітів [203].

Усі запропоновані реалізації НГВБ підтверджували відповідність параметрів кожного НГВБ моделі ідеального генератора випадкових бітів.

Вихідні випадкові бітові послідовності кожного НГВБ проходили також повне тестування відповідно до рекомендацій NIST SP 800-22 (NIST STS) [203, 208]. Набір тестів NIST STS був запропонований в ході проведення конкурсу на новий національний стандарт США блокового шифрування. Цей набір застосовувався для досліджень статистичних властивостей кандидатів на новий блоковий шифр. На сьогодні методика тестування, яка запропонована NIST, є

найбільш поширеною у розробників криптографічних засобів захисту інформації.

Вибірка випадкової бітової послідовності на виході НГВБ завдовжки 100 Мбіт тестується 16 тестами. Час повного тестування відповідно до рекомендацій NIST SP 800-22 (NIST STS) на сучасних комп'ютерах складає 5...15 хв.

Усі запропоновані реалізації НГВБ підтверджували відповідність параметрів кожного НГВБ моделі ідеального генератора випадкових бітів за результатами тестування відповідно до рекомендацій NIST SP 800-22 (NIST STS).

В результаті розробки генераторів випадкових бітових послідовностей для криптографічних застосувань було встановлено, що недетермінований генератор випадкових бітів (НГВБ) відповідно до міжнародного стандарту ISO/IEC 18031:2005 обов'язково включає один або декілька джерел ентропії (ES) і детермінований механізм (алгоритм) криптографічного перетворення сигналів з виходів джерел ентропії у вихідні випадкові біти.

Це необхідно для виконання вимоги стандарту ISO/IEC 18031:2005 – продовження роботи недетермінованого генератора випадкових бітів (НГВБ) способом, не менш захищеним, ніж детермінований генератор випадкових бітів (ДГВБ), у разі повного збою джерела (або усіх джерел) ентропії. Для зменшення імовірності одночасного збою усіх джерел ентропії необхідно застосовувати гаряче резервування декількох джерел ентропії.

Наведені технічні рішення недетермінованих генераторів випадкових бітових послідовностей задовольняють вимогам стандарту ISO/IEC 18031:2005 і захищені патентами України.



**SECTION 3. ELECTRICAL ENGINEERING**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4.3.1

**3.1 Aspects related to the improvement of the technology of applying physical and mathematical models to increase the electromagnetic stability of aerospace engineering samples**

The relevance of ensuring the electromagnetic stability of aerospace engineering samples is constantly growing due to the use of electronic components with a low level of resistance to powerful interference, which is due to the use of an elemental base created by nanotechnology. In addition, increasingly responsible functions (control, management, decision-making, etc.) rely on devices containing such components. On the other hand, the level of electromagnetic "pollution" of the surrounding space is steadily increasing. Moreover, to the natural sources of powerful electromagnetic disturbances, for example, caused by lightning discharges, with a certain probability, sources of artificial origin can be added, especially during military conflicts.

The level of resistance to electromagnetic interference (interference immunity level) is defined as the maximum level of a certain electromagnetic interference affecting a specific technical device, at which it (the device) retains the ability to function with the required quality. Depending on the scope of application of the device sample, the level of its interference resistance is determined. Confirmation of the specified level (certification) is carried out only experimentally according to the established methods (separate for each type of powerful disturbances).

The use of physical and mathematical modeling during design and factory testing can significantly reduce costs and time to ensure the required level of resistance of aerospace equipment to powerful electromagnetic interference. The scientific basis of improving the technology of involving physical and mathematical models to increase the electromagnetic stability of aerospace engineering samples and the methods and means of measuring the parameters of the relevant electrophysical processes are considered.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The experience of operating aerospace facilities shows that one of the most difficult tasks associated with achieving the required level of reliable and high-quality functioning is ensuring the stable operation of their electronic equipment (EE) in a complex interfering electromagnetic environment (EMO) (environments of influence various electromagnetic disturbances, especially powerful ones), which are generated by sources of natural and artificial origin. Electromagnetic interference is an unwanted physical phenomenon or the influence of electric, magnetic or electromagnetic fields, electric currents or voltage from an external source, which disrupts the normal operation of technical means, or causes deterioration of the technical characteristics and parameters of these means [209]. Power electromagnetic interference (PEMI) is interference that can lead to irreversible processes in the elemental base of EE, failures and (or) failure of this device [210]. The criteria for the operation of EE in such conditions of exposure to electromagnetic interference of any kind are defined as follows [211]:

A – normal functioning in accordance with the specification;

B – temporary deterioration of the quality of functioning, which disappears after the termination of the interference;

C – temporary deterioration of the quality of functioning, the correction of which requires operator intervention or system restart;

D – failure or irreversible deterioration of the quality of functioning of the EE, due to damage to hardware or software, or loss of data;

E - degradation that can cause fire safety problems.

In other words, the violation of the normal functioning of the EE in complex obstructive EMO has a reversible and irreversible nature. Reverse disturbances are mainly associated with the destabilizing effect of electromagnetic interference on radio and electrical equipment and the deterioration of the quality of their functioning. Irreversible violations lead to emergency situations, failures and failure of these facilities. This especially applies to the influence of unintentional and organized powerful electromagnetic interference (PEMI) of natural and artificial origin. In contrast to radio noise, the influence of PEMI on EE is highly likely to be associated

with impairment of the performance of these means up to the occurrence of irreversible processes in their elemental base, and as a result - partial failures or complete failure of radio and electrical equipment. Such situations are the result of either the direct impact of current and voltage of electromagnetic interference in the external and internal elements of structures, circuits and circuits of radio and electrical equipment, or the occurrence of voltage and current induced by electromagnetic fields in them. These voltages and currents often exceed the maximum permissible levels stipulated by the operating conditions of the EE, which can lead to the local release of a significant amount of heat on the elements, which ultimately causes their melting and burning, or electrical failure of the EE elements. According to the form of interference, they are divided into impulse and regular [210]. Impulse disturbances are single pulses (signals concentrated in time) or their sequence, arbitrary in shape and different in amplitude, which appear at random moments of time, and, for a sequence of pulses, the intervals between them are, as a rule, longer than the duration of the pulses themselves. Regular disturbances are defined as harmonic and oscillatory.

It is difficult to determine the exact quantitative limit between radio interference and powerful electromagnetic interference. Thus, in [212] it is noted that the degree of influence on crystal mixers and detectors of radar receivers depends on the total energy of interference pulses with a duration of less than 10 ns. Interference energy in the range of (0.1 - 1.0)  $\mu\text{J}$  causes burnout of semiconductor devices used in the frequency range from 1 to 10 GHz. For semiconductor devices used at higher frequencies, burnout levels vary between (0.01 - 0.1)  $\mu\text{J}$ . The effect of single pulses longer than 10 ns depends on their power. Failure of devices used at frequencies below 10 GHz usually occurs at maximum (pulse) power levels above 5 W. Equipment designed to operate at higher frequencies fails at pulse power levels above 0.5 W. Deterioration of quality, which occurs under the action of a sequence of pulses, occurs at significantly lower power levels than in the case of a single pulse. A typical level of such power for a sequence of pulses is 1% of the power of a single pulse [212, 213]. Depending on the type and nature of the radiation sources, PEMZ sources are divided into two classes: interference of natural and artificial origin. Disturbances of natural origin are not

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

related to human life processes and occur independently of them. Disturbances of artificial origin, created artificially with the help of purposeful human activity, belong to the class of organized and are created to impair the quality of functioning or disable the EE.

The most common sources of PEMI of natural origin, which are subject to mandatory regulation, include various manifestations of the influence of lightning discharges. Among the sources of organized PEMI of artificial origin, the striking effect of which causes a violation of the quality or failure of EE, and the parameters of which must also be regulated, include nuclear explosions (HEMP). According to the classification given in the International Standard IEC 61000-2-5 [214], a disruptive electromagnetic environment that has a striking and destabilizing effect on technical means of civilian use is characterized by a power flow density of not less than 26.5 W/m<sup>2</sup> in free space (100 V/m or 0.27 A/m).

It should be pointed out that the parameters of PEMI depend on a number of circumstances, so they are not deterministic. However, for the purpose of reproducibility of test results, specific values are determined taking into account the probability of their occurrence.

Consider the parameters of electromagnetic effects accompanying indirect lightning strikes. There are two types of electromagnetic influence on a technical device: the near and far zone of field formation. The near zone is determined by the distance from 10 m to 100 m from the discharge channel, the far zone is more than 100 m. The maximum, from the point of view of destabilizing action, time parameters of the electromagnetic field that occurs as a result of a lightning strike in the near zone at a distance from the object 10 m, shown in Table 1. It is noted that the minimum distance between the object and the lightning channel is 10 m. Distances less than 10 m are considered as a direct strike event.

Table 1.  
Growth rate parameters [215]

| Field type         | Front growth rate   |
|--------------------|---|
| Magnetic field     | $2.2 \cdot 10^9 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$    |
| The electric field | $6,8 \cdot 10^{11} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ |

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Standard [7, tab. 8] establishes that the rate of increase of the magnetic field strength when simulating a "cloud-ground" lightning discharge should be  $2.2 \cdot 10^9 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . This value is determined by assuming that the lightning channel is vertical relative to the ground surface, the lightning current 200 kA, the dependence of the current on time corresponds to component A, and the distance to the lightning channel is 10 m. The magnetic field is calculated based on Ampere's law.

$$\dot{H}(t) = \dot{I}(t) / 2\pi r$$

where  $r$  is the distance from the lightning channel to the observation point located on the Earth's surface, the dots above the letter designations of physical quantities (magnetic field strength and current) denote the time derivative.

The amplitude-time parameters of component A of the lightning current, given in Table 2, are determined for the pulse form, in the form of a unipolar pulse (Fig. 1), which allows you to control the correctness of the calculations of the time derivative (crossing through zero at the maximum current).

Table 2.

Characteristics of forms of indirect effects of lightning [215]

| Current component | Peak current (kA)   | Action Integral (A <sup>2</sup> s) | Decay to 50% (μs) | Time to 10% (μs) | Time to 90% (μs) | Time to Peak (μs) | Rate of rise (A/s)                | Peak rate of rise t = 0+ (A/s) |
|-------------------|---|------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| A                 | 200   | 2.0x10 <sup>6</sup>                | 69                | 0.15             | 3.0              | 6.4               | 1.0x10 <sup>11</sup><br>@ 0.5 μs  | 1.4x10 <sup>11</sup>           |
| B                 | Produces average current of 2 kA over a 5 millisecond period                        |                                    |                   |                  |                  |                   |                                   |                                |
| C                 | Defined as rectangular waveform for analysis purposes of 400 A for 500 milliseconds |                                    |                   |                  |                  |                   |                                   |                                |
| D                 | 100   | 0.25x10 <sup>6</sup>               | 34.5              | 0.08             | 1.5              | 3.18              | 1.0x10 <sup>11</sup><br>@ 0.25 μs | 1.4x10 <sup>11</sup>           |
| D/2               | 50  | 6.25x10 <sup>4</sup>               | 34.5              | 0.08             | 1.5              | 3.18              | 0.5x10 <sup>11</sup><br>@ 0.25 μs | 0.7x10 <sup>11</sup>           |
| H                 | 10  | N/A                                | 4.0               | 0.0053           | 0.11             | 0.24              | N/A                               | 2.0x10 <sup>11</sup>           |

Table 2 shows the other components of the lightning current, which correspond to various options for the interaction of lightning with the aircraft. These features

should be taken into account during the general assessment of the level of EE immunity. Component A is the most powerful, so only it is considered further.

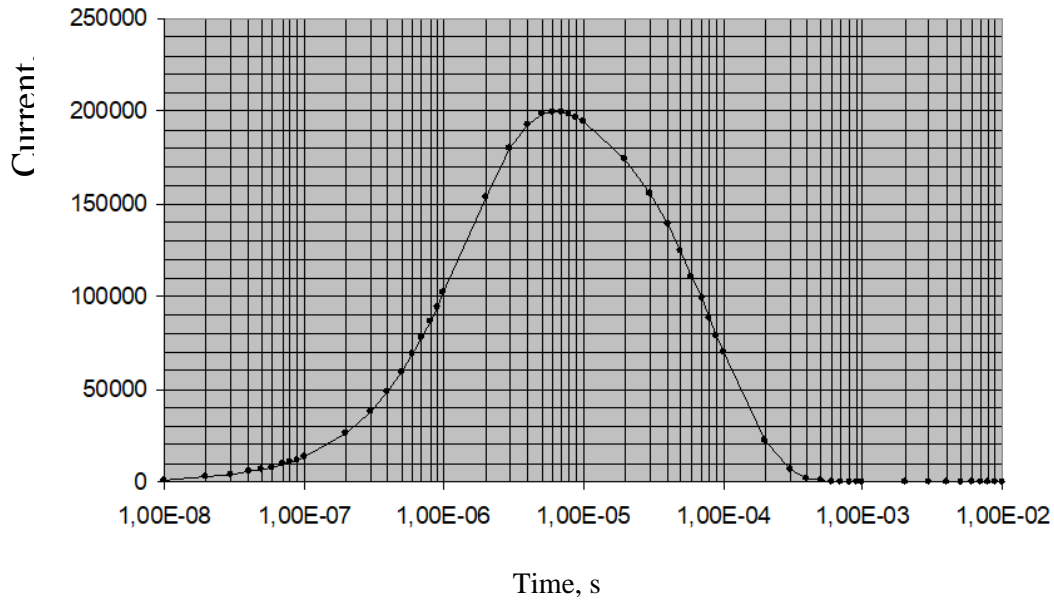


Figure 1. The shape of the time dependence of the A component of the lightning current

To find the maximum value of the increasing speed of the magnetic field intensity, the time derivative of the lightning current was calculated. The result of the calculation is presented in Figure 2.

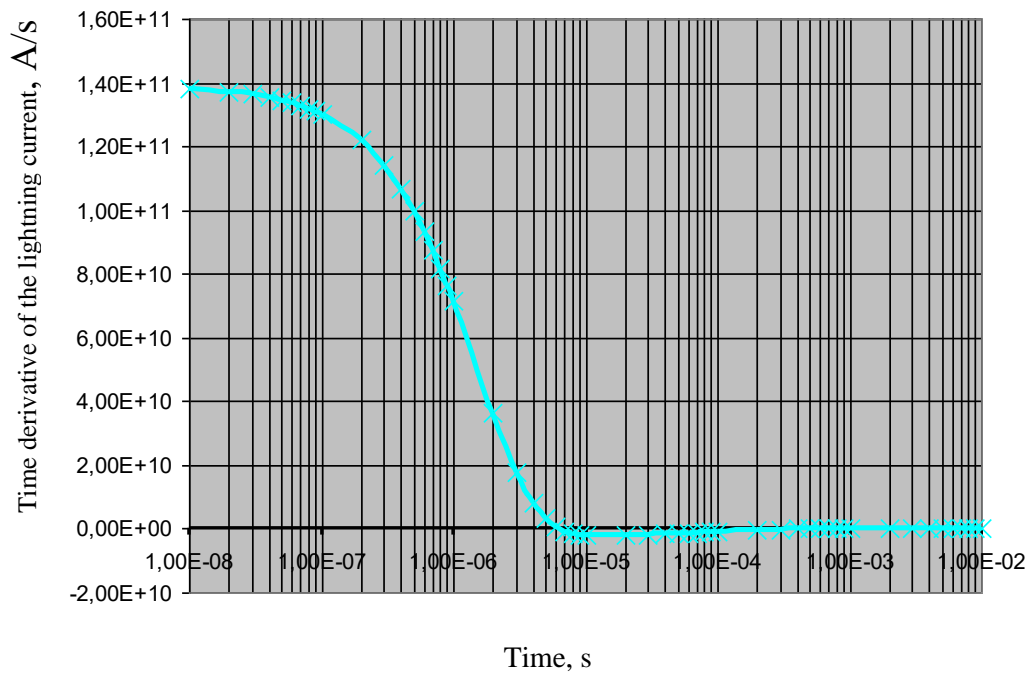


Figure 2. Derivative component A of the lightning current

Figure 1.2 shows that the current pulse has a maximum growth rate of  $1.4 \cdot 10^{11}$  A/s (at a current of  $2 \cdot 10^5$  A), which corresponds to the data recorded in Table 2 for component A.

Dividing the value of the maximum rate of increase of the current strength by  $62.8 (2\pi R, R = 10 \text{ m})$ , we get  $2.23 \cdot 10^9 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , the value specified in Table 1 for the magnetic field strength. The algorithm for calculating the magnetic field intensity level is important because it allows you to determine the limit parameters for the EO sample, taking into account its technical features (overall dimensions, surrounding objects, lightning protection systems). It should be noted that the above-mentioned value of the rate of increase of the magnetic field intensity is the maximum possible, based on the formulas given in the standard, which describe the time dependence of the current strength in the lightning channel. This value is reached at time  $t = 0 +$ . In reality, the current does not increase at the moment of "turning on" by a jump, and always has a section of smooth increase. Therefore, when determining the parameters of the magnetic field strength, which must be implemented for the purposes of testing, it is advisable to proceed from the value of the average growth rate, which is obtained as a result of dividing the difference in the strength values at the levels 0.1-0.9 by the maximum value  $\Delta I_{0.1-0.9}$  for the time interval between the moments of reaching these values  $\Delta t_{0.1-0.9}$ . In this case, the value of the rate of increase of the magnetic field strength at a distance of 10 m will be equal to  $8.9 \cdot 10^8 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , which is 2.5 times less than indicated in Table 1. In addition, it is possible to choose the value of the speed the increase of the magnetic field based on the value of the rate of increase of the current strength of  $1.0 \cdot 10^{11} \text{ A} \cdot \text{s}^{-1}$ , which is reached at a time of  $0.5 \mu\text{s}$ , as can be seen from Figure 1.2 and the data in Table 2. Based on the maximum requirements of the standard [215], when testing the sample, the goal of achieving the value of the rate of increase of the magnetic field intensity is  $2.23 \cdot 10^9 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . Taking into account the above, it is enough to set the pulse of the magnetic field intensity in a time form that is similar to the form of the A component of the lightning current.

It should be noted that there is a contradiction between the two basic standards [215] and [216] regarding the parameters of the electric field. Section 254.4 of the

AESTR-250 standard [216] is devoted to consideration of the form of amplitude-time parameters and the effects of direct and indirect lightning strikes, which are used in lightning resistance tests. Indirect lightning strikes are lightning discharges at a distance of at least 10 m from the object and are characterized by electric and magnetic fields. The strengths of these fields are given in the AESTR-250 standard [216]. We compare the requirements for the electrical component.

The technical requirements for test electric fields given [216] are characterized by the intensity  $E$  according to formula (1) and the rate of increase of the electric field according to formula (2):

$$E = 3 \times 10^6 / (1 + R^2 / 50^2)^{1/2}, \quad (1)$$

where:  $E$  is the amplitude of the vertical component of the electric field, V/m;

$R$  is the distance from the lightning discharge channel, m.

$$dE / dt = 6 \times 10^{12} / (1 + R^2 / 50^2)^{1/2}. \quad (2)$$

The distance  $R$  during tests must be at least 10 m from the lightning discharge channel. Thus, the maximum value of the electric field growth rate at  $R = 10$  m is  $5.88 \cdot 10^{12} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , and at a distance of 50 m it is  $4.28 \cdot 10^{12} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . It should be noted that in table 8 of the US military standard MIL-STD-464C:2010 [215], another value of the electric field growth rate is given:  $E = 6.8 \cdot 10^{11} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , that is, almost an order of magnitude less. In the standard DSTU 3681-98 [217], the following characteristics of the intensity of the pulsed electric field are specified for tests:

- voltage up to 300 kV/m;
- pulse front duration – 100  $\mu\text{s}$ .

The average value of the growth rate of such a pulse is  $3 \cdot 10^9 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . Unfortunately, the basic standard IES 62305:2010 [218] does not contain the necessary information about the electric field. We believe that the standard [216] contains erroneous requirements for electric field parameters. This conclusion is based on this assessment. The maximum value of  $5.88 \cdot 10^{12} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  regulated by the standard [216] means that in 1  $\mu\text{s}$  the electric field strength should increase to the value of  $5.88 \cdot 10^6$



$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ . At this voltage, the breakdown of the air gap is guaranteed, because the electrical resistivity of air in a uniform electric field does not exceed  $3.0\cdot 10^6 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ , and in a non-uniform one -  $0.5\cdot 10^6 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ . In the presence of a test sample, the electric field will be sharply inhomogeneous. In this variant, the breakdown will occur at an electric field strength of  $5.0\cdot 10^5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ , which is consistent with the requirements of the standard [215]. It is obvious that the practical implementation of the requirements of the standard [216] during sample testing is not possible.

Based on the comparison of the above data from various normative documents, a conclusion was made about the inadequacy of the requirements of the standard [216]. Therefore, it was decided to accept the requirements of the standard [215] as technical parameters for the pulsed electric field. It is important that both standards [215, 216] do not regulate the test implementation procedure, but indicate the need to do it at the national level. The testing methodology in Ukraine according to the standards under consideration, developed at KhPI National Technical University, is described in [219].

For the physical and mathematical modeling of the processes of action of powerful electromagnetic influences on EE in order to increase the stability of aviation and space technology, it is necessary to determine the parameters of possible influences. In addition to the lightning discharges discussed above, the standards regulate a number of other phenomena. According to the mechanism of influence, the phenomenon is divided into the following:

- conductive, which are distributed along galvanic lines, including electric power, communication, control cables, etc.;
- field electromagnetics that act on the entire system as a whole, including directly on the electronic circuits placed in the product body.

The sources of conductive disturbances are usually processes associated with the switching of powerful equipment, for example, the start of aircraft engines, or secondary manifestations associated, for example, with the spread of lightning current on the ground, voltages and currents arising in long lines during action electromagnetic pulse of a nuclear explosion. It is clear that an adequate test is impossible in this case. Therefore, without mathematical modeling of such processes, it is impossible to obtain

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

an objective assessment of the level of stability of on-board aircraft equipment or equipment of strategic objects. Mathematical modeling must undergo experimental testing on cables under conditions that can be implemented experimentally.

All the variety of electromagnetic phenomena described in the standards should be summarized as follows:

- single pulses;
- bundles of pulses;
- harmonic unmodulated;
- harmonic with modulation.

Each of these types has peculiarities from the point of view of the adequacy of their mathematical modeling. It is clear that modeling the effect of bursts of pulses and modulated signals is more difficult than others. Therefore, as a first step, the mathematical modulation of the influence of single pulses and unmodulated harmonic voltages is further considered. It should be noted that pulses have different time ranges: nano, micro and milliseconds.

Let's consider the parameters of the most dangerous types of electromagnetic disturbances regulated by standards. The results of a comparative analysis of the requirements of the current NATO standards [216, 220] with the requirements of the civil standard [221], which determine the levels of resistance of the on-board equipment of aircraft to the action of powerful electromagnetic interference, are shown in Table 3.

Table 3.  
The strictest requirements for the level of stability of galvanic ports

| Standard / part                 | Disturbance type                 | Level test signal | Form of test signal                     | Time or frequency parameter           | Additional information* |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|---|---------------------------------------|-------------------------|
| EUROCAE ED-14G / part 20 cat. Y | Cable injection of current       | to 300 mA         | Modulate harmonic                       | from 10 kHz to 400 MHz                | Table 20-2              |
| AECTP-500:2016 / NCS08          | Cable injection of pulse current | to 5A             | Unipolar pulse trapezium form 2/30/2 ns | width 30 ns, tracking frequency 30 Hz |                         |

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

Continuation of table 3

|                           |   |                    |                                  |                                      |                     |
|---------------------------|---|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| AECTP-500:2016 / NCS09    | Cable injection of damped oscillating current | from 0,1A to 10 A  | decaying sine wave               | from 10 kHz to 100 MHz               |                     |
| EUROCAE ED-14G / part. 22 | Transient processes caused by lightning       | voltage to 3200 V, | single multiple hits and flashes | according to the shape of the pulses | Table 22-2 – 22.2-4 |

**Note:** The tables indicated in the last column are contained in the standard

It should be noted that the introduction of interference directly into the galvanic port is a rather critical type of test, which is carried out in accordance with the methodology of the standard and does not require additional mathematical modeling.

Another situation arises when testing the stability of objects with significant overall dimensions to the influence of electromagnetic fields. Options regulated by standards are presented in Table 4.

Table 4.

Parameters of electromagnetic fields

| Standard / part                    | Disturbance type  | Level test signal      | Form of test signal                       | Time or frequency parameter | Additional information* |
|------------------------------------|---|------------------------|---|-----------------------------|-------------------------|
| EUROCAE ED-14G / part 20 Cat. L    | Electromagnetic wave                                    | 7200 V/m               | Pulse modulation                          | from 100 MHz to 18 GHz      | Table 20-3              |
| AECTP-500:2016 / NRS02, (aircraft) | High intensity radio frequency field (HIRF)             | 200 V/m                | electromagnetic field, modulated sinusoid | from 2 MHz to 40 GHz        | Table NRS-02-1          |
| AECTP 250:2014 / part 258          | Radio frequency electromagnetic field                   | Peak level to 7200 V/m | continuous or pulse modulated sine wave   | from 0,01 MHz to 40 GHz     | Table 258-3B            |
| AECTP-500:2016 / NRS03             | The electromagnetic pulse of a nuclear explosion (HEMP) | 50 kV/m                | unipolar impulse                          | front 2 ns, width 23 ns     |                         |

**Note:** The tables indicated in the last column are contained in the standard

The data shown in Table 4 give grounds for the following conclusions:

1. The formation of radio frequency fields with the specified levels of electric field strength during pulse modulation is a complex technical task, especially under the conditions of significant dimensions of the working volume. The solution costs millions of US dollars apparently for a volume of 8 m<sup>2</sup>. The high cost is associated with the need to use a line of broadband generators, amplifiers and appropriate metrological support.
2. For large objects, such as an airplane, meeting the requirements of the standards is not possible without the use of mathematical modeling methods. In Ukraine, systematic studies in this direction have not been conducted so far.
3. It is known that cable lines are the most effective receiver of electromagnetic field energy. Therefore, one of the main aspects is the modeling of the process of EMF interaction with cables.

The on-board circuits of the aircraft are most affected by lightning currents, since their operation most often occurs in conditions of active thunderstorm activity, as a result of which these devices become the object of direct damage by lightning [222]. The direct effect of lightning currents on the aircraft is accompanied by the flow of large currents along the aircraft body and their interaction with the circuits of radio and electrical equipment located inside the aircraft. Under this electromagnetic influence of lightning currents, internal asymmetric circuits of automated control and power supply systems are most susceptible, in which the aircraft body directly acts as the return path of the current (Fig. 3). In the general case, when a lightning current  $I_m(t)$  flows through it, an induced voltage consisting of resistive, inductive and aperture components (3) occur at the open ends of the asymmetric internal on-board circuit located in the fuselage (screen housing) [222].

$$U_n(t) = R_e l_l i_M(t) + M_{e-l} l_l \frac{di_M^*(t)}{dt} + M_B \frac{di_M^*(t)}{dt}. \quad (3)$$

where:  $R_e = R_0 \{1 + 2[\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp(-\pi^2 n^2 t / \tau_{ou\phi})]\}$  ;

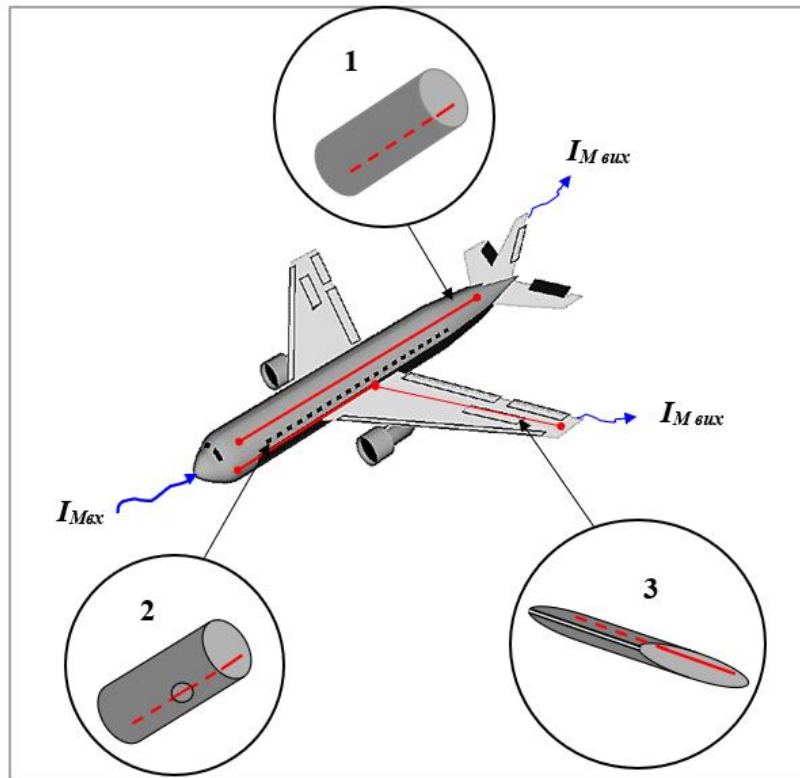
$$i_M^*(t) = i_M(t) [1 - \exp(-t / \tau_{ou\phi})],$$

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

where:  $R_o$  - resistance of a unit length of the body-screen to direct current;

$\tau_{\text{diff}} = \mu\sigma_M d_s^2$  - time constant of lightning current diffusion into the case-screen;

$i_M^*(t)$  - lightning current flowing along the inner wall of the screen housing, taking into account the surface effect;



- 1 – homogeneous part of the cylindrical fuselage;
- 2 – part of the cylindrical fuselage with portholes;
- 3 – a wing element with a longitudinal gap formed open flaps.

Figure 3. To determine the electromagnetic influence of lightning currents flowing along the fuselage of the aircraft on its on-board circuits located in typical components of the aircraft [222]

$M_{e-1}$  is the coefficient of mutual inductance of the electrically homogeneous screen housing and the conductor of the internal circuit;

$l_1$  – chain length;

$M_B$  is the coefficient of mutual inductance, which is determined by the coupling flux between the conductor of the internal circuit and the external magnetic flux

associated with the lightning current, which penetrates into the case-screen through electrical inhomogeneities (holes, gaps, etc.).

As practical experience shows, the most significant and difficult in calculating the voltage induced in the on-board circuits of aircraft when they are directly struck by lightning are:

- determination of the ohmic resistances of the component parts of the aircraft body (fuselage and wing) taking into account their configuration and actually existing electrical inhomogeneities in the form of gaps in the wings from shields, flaps, ailerons and holes in the fuselage from portholes and hatches;

- coefficients of mutual inductance of the aircraft body with on-board circuits laid in it and coefficients determining the effect of electrical inhomogeneities on these circuits. The dependence of the coefficient of mutual inductance between the aircraft body and the conductors of the on-board circuits on the geometric parameters is presented in Figure 4. Table 5 shows the analytical expressions obtained in [223] for determining these parameters.

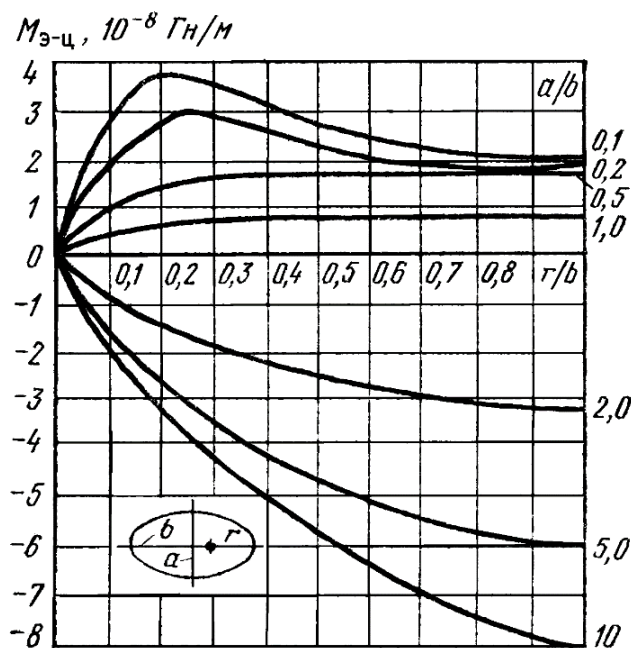
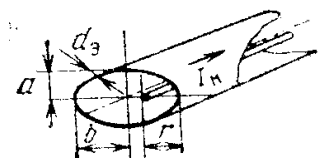
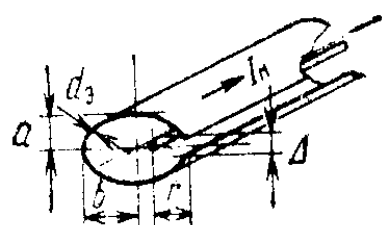
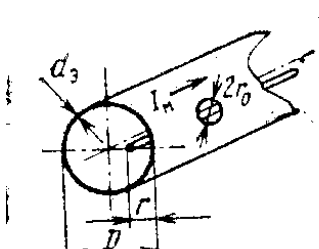


Figure 4. Dependence of the mutual inductance coefficient between the aircraft body and the conductors of the on-board circuits from the geometric parameters [223].

Table 5.

Parameters of interaction of lightning currents with on-board circuits of aircraft [223]

| Aircraft component   | Formulas for determining parameters   |  |
|--|---|--|
|  | Direct current resistance, Ohm/m  | Coefficient of mutual inductance   |
| <p><b>Homogeneous</b><br/>Part of the fuselage without holes (a=b),<br/>wing without open flaps (b&gt;a))</p>   | $R_{\text{30}} = \frac{1}{p \sigma_M d_{\text{3}}}$                                     | <p>Look to fig. 4<br/>for <math>l_e \gg b</math></p>   |
| <p><b>Wing with open flaps</b></p>   | $R_{\text{30}} = \frac{1}{(p - \Delta) \sigma_M d_{\text{3}}}$                          | $M_{\text{ui}} = \mu_0 \frac{4\Delta^2 l}{\pi} \left( \frac{2b - r}{2brp} \right) \times$ $\times \exp \left[ - \left( \frac{\pi d_{\text{3}}}{\Delta} - 2 \right) \right],$ <p>where <math>l = l_{\text{II}}</math> if <math>l_{\text{III}} &gt; l_{\text{II}}</math><br/><math>l \neq l_{\text{II}}</math> for <math>l_{\text{II}} &gt; l_{\text{III}}</math><br/>For <math>r \geq \Delta</math></p> |
| <p><b>Fuselage with portholes</b></p>   | $R_{\text{30}} = \frac{1}{\sigma_M d_{\text{3}}} \left[ \frac{1}{\pi D - 2r_0} \right]$ | $M_{\text{oms}} = \frac{4\mu_0 r_0^3 (D - r)}{3\pi^2 r D^2} \times$ $\times \exp \left( \frac{1,8 d_{\text{3}}}{r_0} \right),$ <p>if <math>r_0/r \leq 0.5 \dots 0.6</math><br/><math>r \leq D/2</math></p>   |
| <p><b>Note:</b> The following designations are used in the table: <math>\sigma_M</math> - - specific conductivity of the fuselage material, S/m; ; <math>p = \pi[1,5(a + b) - \sqrt{ab}]</math>; <math>l_{\text{II}}</math>- length of on-board chain, m; <math>l_{\text{III}}</math>- slot length, m; <math>l_3</math>- body length, m.</p> |   |  |

The given formulas are obtained for fairly simple options, which do not occur in practice, because the cable lines are laid in bundles and boxes. Cable laying has a complex spatial nature, usually three-dimensional. It is clear that taking into account

the real parameters of the aircraft and various chains is possible only with the use of computer simulation. This process is very difficult, but necessary. Analytical dependencies can be used to check the adequacy of mathematical models by comparing the results. Developed and tested mathematical models have significant advantages because they can be applied to any object.

Let's consider the features of the impact of an electromagnetic wave propagating in free air on cable lines. Mathematical models differ depending on the ratio of the length of the cable line (CL) and the wavelength.

The mathematical description of the problem in the quasi-stationary approximation is given by the system of Maxwell's equations:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{J} \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

where  $\vec{H}$  - the magnetic field intensity vector, A/m;  $\vec{E}$  - electric field intensity vector, V/m;  $\vec{J}$  - conduction current density vector, A/m<sup>2</sup>;  $\vec{B}$  - magnetic induction vector, T;  $\vec{D}$  - electric induction vector, C/m<sup>2</sup>;  $\rho$  - volume density of electric charge, C/m<sup>3</sup>.

The fundamental equations are Ohm's law, the continuity equation, and Gauss's law:

$$\begin{aligned} J &= \sigma E \\ \operatorname{div} \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} &= 0 \\ \nabla(\epsilon E) &= \rho \end{aligned} \quad (5)$$

Material equations are presented in the form:



$$\begin{aligned}\vec{D} &= \varepsilon_0 \vec{E}, \\ \vec{B} &= \mu_0 \vec{H}, \\ \vec{J} &= \sigma \vec{E},\end{aligned}$$

where  $\varepsilon_0$  - the dielectric constant of vacuum, F/m;  $\mu_0$  - magnetic permeability of vacuum, H/m;  $\sigma$  - specific electrical conductivity, S/m.

Boundary conditions during the transition from one environment to another (dielectric - conductor) in the variant under consideration are as follows:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{1\tau} - \vec{E}_{2\tau} &= 0 \\ \vec{D}_{1n} - \vec{D}_{2n} &= \rho_s \\ \vec{H}_{1\tau} - \vec{H}_{2\tau} &= \vec{J}_s \\ \vec{B}_{1n} - \vec{B}_{2n} &= 0\end{aligned}\tag{6}$$

where  $\rho_s$  - surface charge density, C/m<sup>2</sup>;  $\vec{J}_s$  - surface current density vector, A/m<sup>2</sup>.

We set the initial conditions to zero.

This formulation of the electric field distribution problem is implemented using the finite element method using, for example, the COMSOL Multiphysics AC/DC – Electrostatic module.

The mathematical description of the problem for the wave version uses a differential equation that describes the distribution of the magnetic field taking into account the displacement currents:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \sigma \vec{E} + \vec{J}^e + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t},\tag{7}$$

where:  $\vec{J}^e$  - external current density vector, A/m<sup>2</sup>.

For harmonic electromagnetic fields, it is advisable to make substitutions (8), which transform the system of equations into equation (9):

$$\begin{aligned}\vec{B} &= \text{rot} \vec{A} \\ \vec{E} &= -j\omega \vec{A}\end{aligned}\tag{8}$$

$$(j\omega\sigma - \omega^2\varepsilon_0)\vec{A} + \text{rot}\left(\frac{1}{\mu_0}\text{rot}\vec{A} + \vec{M}\right) = \vec{J}^e \quad (9)$$

where:  $\vec{M}$  - magnetization vector of the material, A/m.

The differential equation (9) is the basis of the finite element calculation of the COMSOL Multiphysics AC/DC – Magnetic Fields – Frequency Domain module.

The results of the application of COMSOL Multiphysics AC/DC to determine the probability of lightning striking elements of the launcher of the Kourou Cosmodrome with the installed ARIANE 5 rocket are given in [224]. Among the results of the calculation, the magnetic field near the launch vehicle and in the areas where the equipment is located, the current on structural elements and cable lines are of interest.

When solving the problems of electric current distribution on the real body of the object and finding the electromagnetic field created by this current, it is necessary to carry out a number of stages. First, models of real objects usually created in CAD programs are characterized by high detail of all structural elements. All grooves, technological holes, surface irregularities, bolted connections and elements of the body or equipment are present in the model. It is necessary to simplify the geometry of the object in such a way as to exclude all elements that do not affect the current distribution. In most cases, this step is still not enough and a number of assumptions and approximations must be made. For example, hardware elements such as layer connections, motor design elements, etc. can be replaced by equivalent simplified designs with appropriate ohmic resistance. It is necessary to replace the real parts of the object with models while preserving the quality and detail of the model. If the geometry of the calculated model of the object will be significantly different from the original one, this may cause discrepancies with the test results. At the second stage, the simplified model is converted into the selected COMSOL Multiphysics module. At the third stage, the electrical parameters of the model elements, the operating wave parameters, and the initial conditions are set. Calculation is in progress.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The purpose of the calculation is to find the current and induced voltages on the communication cable lines. Real cables can be twisted pair, bus bars, or coaxial cable. The key role in the nature of induced voltages is played by the inhomogeneities of the object's housing, the ways of laying cable lines in the housing, and the type of cable line.

For metrological support of research and tests related to the action of powerful electromagnetic disturbances, at least the required set of measuring equipment includes the following:

- magnetic field intensity meter;
- electric field intensity meter;
- electric shunt;
- voltage divider;
- recording equipment (oscilloscope).

The conversion factors and the frequency band must correspond to the parameters of the interference under investigation. The following are the special requirements for measuring equipments.

A magnetic field strength meter is used to measure the magnetic field. Given the possible high levels of tension, the use of ferromagnetic materials should be limited.

Electric field strength meters should be a set for the entire investigated frequency range. Usually, measuring antennas (dipole, logperiodic, etc.) are used for frequencies above 1 GHz.

An electric shunt is used to measure the current in the discharge circuit of the impulse current generator. The most powerful current pulses are associated with lightning discharges, reaching 200 kA. The front of the current pulse is a unit of microseconds, so the shunt design must provide a minimum inductance (for example, a bifilar).

The voltage divider must combine a high division ratio with a high rate of rise of the transient characteristic. Usually, such dividers are made according to a mixed resistive-capacitive scheme.

For the physical modeling of the current spreading processes along the body of the object, it is advisable to have a current spreading meter to determine the magnitude of the current on the structural elements when the current is directly injected into the body of the object.

Let's consider the main regularities in the design of the magnetic field intensity meter. The electromagnetic induction method has gained widespread use due to its simplicity and reliability. Sensors based on the effect of electromagnetic induction are frame antennas in which electromotive force (EMF) is induced, according to the law of electromagnetic induction:

$$e_n = -\mu_o \mu_r S w \frac{dH_o}{dt} \cos \varphi \quad (10)$$

where:  $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m;  $\mu_r$  – relative magnetic permeability;  $S$  – area of the frame, m<sup>2</sup>;  $w$  – the number of turns;  $\varphi$  – the angle between the direction of the vector  $\vec{H}_o$  and the normal to the frame.

Figure 5 shows the converter substitution scheme (IC), where  $L_d$  is the inductance of the converter;  $C_d$  - capacity of the converter;  $R_d$  - resistance of the converter;  $R_u$  is the resistance of the integrator,  $C_u$  is the capacity of the integrator.

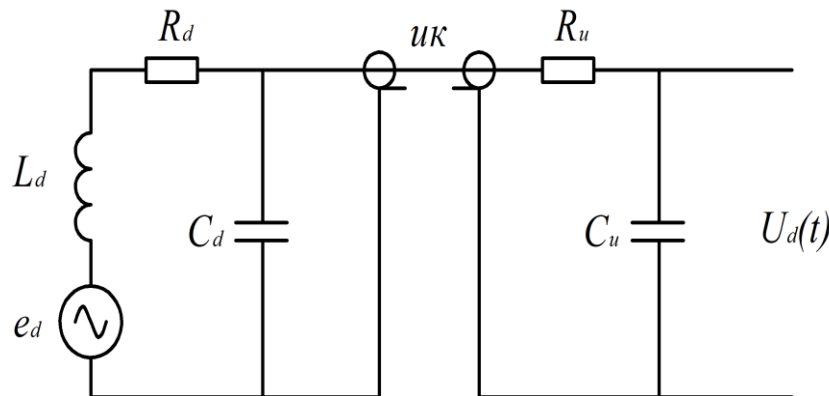


Figure 5. The scheme of replacing the induction converter

The relationship between EMF. and the voltage at the frame output  $U_d$  is described by the equation (11):

$$e_d = L_d C_d \frac{d^2 U_d}{dt^2} + \left( \frac{L_d}{R_d} + R_d C_d \right) \frac{dU_d}{dt} + \left( 1 + \frac{R_d}{R_o} \right) U_d \quad (11)$$

Where:  $U_d$  – voltage at the output of the converter, which is applied to the input of the measuring cable (MC);  $R_0$  is the MC input resistance (usually 50 ohms).

It can be seen from equation (11) that the induction-type IC is a second-order measuring transducer. As a result, the voltage at its output contains oscillating or aperiodic components superimposed on the main pulse, the amplitude and shape of which are determined by the dynamic properties of the IC. The dynamic properties of IC, intended for measuring impulse processes, are fully described by the transient characteristic.

The transient characteristic is the voltage at the output of the IC when a unit jump of the magnetic field pulse is applied to its input. For the IC, the substitution scheme of which is shown in Figure 5, the formula looks like this:

$$U_0^{TR} = \frac{R_0}{R_0 + R_d} \left[ 1 + \frac{I}{P_1 - P_2} (P_2 \exp(-P_1 t) - P_1 \exp(-P_2 t)) \right], \quad (12)$$

$$P_{1,2} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - c}, \quad a = \frac{L_d + R_d R_0 C_d}{R_0 L_d C_d}, \quad c = \frac{R_0 + R_d}{R_0 L_d C_d}.$$

From equation (12) it turns out that if  $a^2 < 4c$  the transient characteristic of the IC has an oscillatory character. Such IC is called uncoordinated. When  $a^2 > 4c$  the transient characteristic is an aperiodic damping. In this case, it is called renegotiated. When  $a^2 = 4c$  the transient characteristic will be critically coordinated, which will ensure the minimal deformation of the pulse measurement.

The rise time of the transient characteristic is estimated by formula (13)

$$T_h^{IX} = 3,35 \sqrt{L_d C_d} \quad (13)$$

To obtain a signal proportional to the magnetic field, it is necessary to integrate the signal using RL - integration or RC - integration. Figure 5 shows the scheme of the IC with an RC integrator.

A TEM horn measuring transducer is used to measure short-front (sub-nanosecond) EMI parameters [225]. The design of the TEM horn measuring transducer is shown in Figure 6. The angle at the top of the triangular electrode is  $\alpha$ , the plane of

the triangular electrode forms an angle  $\beta$  with the horizontal plane. In some cases, a resistive coating is applied to the electrodes of the TEM horn for better matching and reducing the value of the reflection coefficient of the horn in a wide frequency band [225]. To increase the duration of the transient characteristic, the electrodes of the TEM horn are also lengthened in the form of flat parallel plates. A photograph of a TEM horn with resistive sputtering and an increased duration of the transient characteristic is shown in Figure 6.

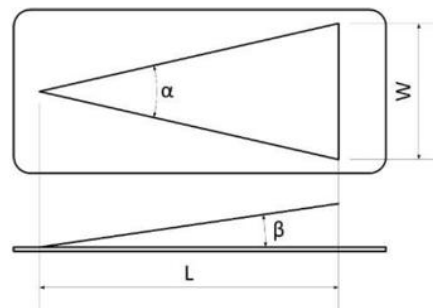
The rise time of the transient characteristic and its duration  $t_x$  (at the zero level) can be found from formulas (14) [225]:

$$T_I^{TR} = \frac{L(1 - \cos(\beta/2))\sqrt{\varepsilon}}{c}, \quad T_0^{TR} = \frac{2L\sqrt{\varepsilon}}{c}. \quad (14)$$

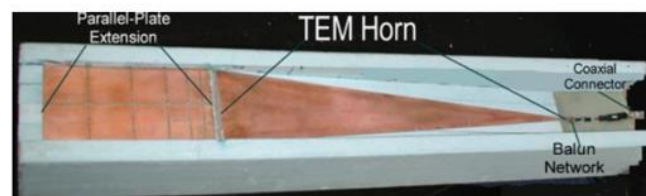
where:  $L$  – horn length (see Figure 6);

$\varepsilon$  – relative dielectric constant of the medium inside the horn;

$c = 3 \cdot 10^8$  M / c - speed of light in vacuum.



a)



b)

(a) drawing of a TEM horn with an elongated plane-parallel part and resistive sputtering; (b) photograph of the sample [225]

Figure 6. Design of the TEM horn measuring device converter

The transient characteristic of the TEM-horn VP has the shape of a triangle with a steep front and a gentle decline [225] (Figure 7).

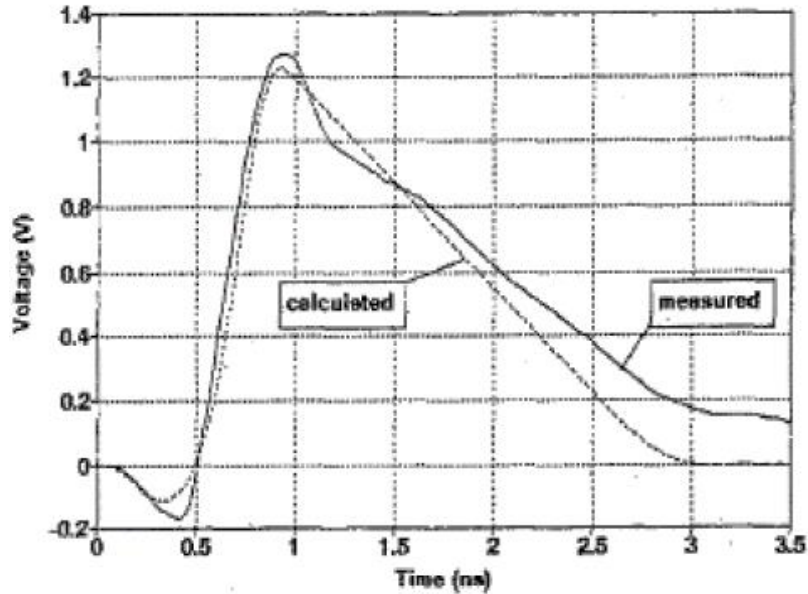


Figure 7 Transient characteristic of TEM-horn VPs [225]

In practice, the transient characteristic of the TEM-horn VP is determined during its calibration in field-forming systems that reproduce step pulses. It is possible to carry out calibration using two TEM samples [226]. Two identical loudspeakers are placed on the axis opposite each other at a distance  $r$  between the apertures (in the far radiation zone). One TEM horn is excited by a stepped signal. The electric field strength at a distance  $r$  can be found by formula (15):

$$E_0(t) = \frac{F(t)}{r} U_{in}(t), \quad U_{in}(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases}, \quad (15)$$

where:  $F(t)$  – transient characteristic of the TEM horn for transmission.

The signal at the output of the receiving horn  $U_{out}(t)$  is determined by the expression (16):

$$U_{oux}(t) = h(t)E_0(t), \quad (16)$$

where:  $h(t)$  – the transient characteristic of the TEM horn for reception, which in the frequency domain is determined by the formula (17):

$$h(\omega) = \sqrt{\frac{2\pi \cdot c \cdot Z_a \cdot r \cdot U_{out}(\omega)}{j\omega Z_0 U_{in}(\omega)}}, \quad (17)$$

where: де  $Z_a = R_a + jY_a$  – antenna impedance,

$R_a$  – radiation resistance of the antenna,

$Z_0 = 120\pi$  – wave resistance of free space,

$j = \sqrt{-1}$  – complex unit

$\omega = 2\pi f$  – cyclic frequency.

The peculiarity of the given design is the ability to ensure the measurement of strong pulsed electric fields. Traditional antennas, on the contrary, are not capable of measuring strong electric fields, in addition, they have a complex frequency response, which complicates the process of measuring pulsed fields.

Another version of the TEM horn is presented in Figure 8.



Figure 8. TEM horn antenna [227]

The characteristics of some types of TEM horn measuring transducers are given in Table 6.



Table 6.

The characteristics of some types of TEM horn measuring transducers

| Antenna, manufacturer  | Conversion factor., $K_n$ , V/(V/m) | Rise time transient characteristic, ps | Decline, ns |
|--|-------------------------------------|--|-------------|
| TEM-1, Farr Research (USA)                                     | $1,8 \cdot 10^{-2}$                 | 30                                     | 2           |
| TEM-2, Farr Research (USA)                                     | $3,5 \cdot 10^{-2}$                 | 40                                     | 4           |
| ИИИЛ-Р, All-Russian Institute of Optical-Physical Measurements | $9,5 \cdot 10^{-3}$                 | 50                                     | 2,5         |
| Resistive Tapered TEM-horn, NIST (USA)                         | $1 \cdot 10^{-1}$                   | 170                                    | 8,0         |

The most powerful currents are characteristic of lightning, therefore, for measuring the parameters of such currents, the electric shunt must meet special requirements. The shunt must have stable metrological characteristics when measuring the current form of 10/350  $\mu$ s with an amplitude of up to 200 kA, since in this mode the worst operating conditions are ensured due to the occurrence of electrodynamic forces and withstand the heating of the resistive element as a result of the flow of component C (see table 2).

The shunt can be described by an electrical model (Figure 9). Any current-carrying conductor creates a magnetic and electric field. Therefore, in the electrical circuit, this can be taken into account by adding inductance and capacitance to the purely active resistance.

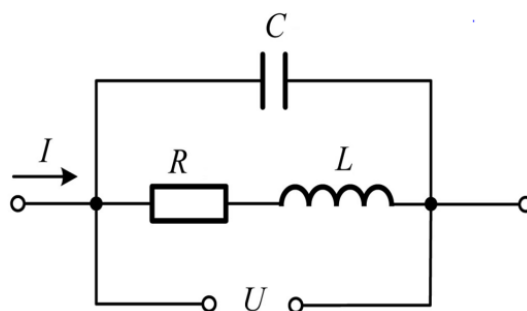


Figure 9. Electrical diagram of the shunt

For shunts with a resistance from 0.1 to 10 mΩ, the capacitive resistance  $1/\omega C$  approaches the active resistance only at frequencies above 100 MHz. [228]. In this case, the shunt voltage includes the following components:

$$u_L(t) = L di(t)/dt ; \quad \text{and} \quad u_R(t) = R \cdot i(t).$$

It must be taken into account that with small resistances, the inductance becomes increasingly important. The voltage on the inductance can be many times higher than the voltage on the active shunt resistance at the corresponding frequency. In [228], graphs of the shunt voltage are shown for a linear rising pulse front. For a shunt inductance of 10 nH, an active shunt resistance of 0.1 mΩ and a current in the circuit of 1 A, the voltage on the shunt is drawn in Figure 10. In this case, the voltage on the active resistance of the shunt  $U_R = i \cdot R = 0.1 \text{ mV}$ , the voltage on the inductance  $U_L = L \cdot di/dt = 1 \text{ mV}$ .

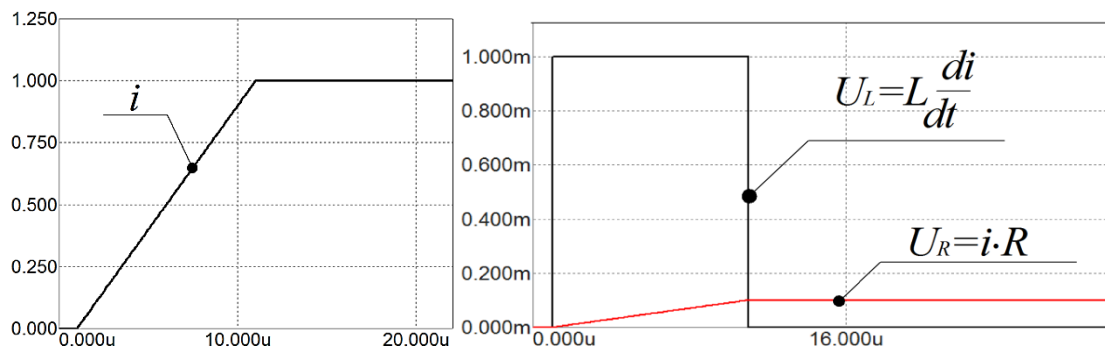


Figure 10. Graph of the voltage on the shunt for a linearly rising pulse front of 10  $\mu$ s when a current of 1A flows with an active shunt resistance

$$R = 0.1 \text{ m}\Omega \text{ and shunt inductance } L = 10 \text{ nH [228]}$$

In real conditions, it is impossible to obtain such a current form. Usually, current pulses are shaped like the difference of two exponents, and have a finite current rise time. The results of the voltage measurement for a shunt inductance of 10 nH, an active shunt resistance of 0.1 mΩ and a biexponential current form in the circuit with an amplitude of 1 A are presented in Figure 11. In this case, the voltage on the active shunt resistance  $U_R = i \cdot R = 0.1 \text{ mV}$ , voltage on the inductance  $U_L = L \cdot di/dt = 1.43 \text{ mV}$ .

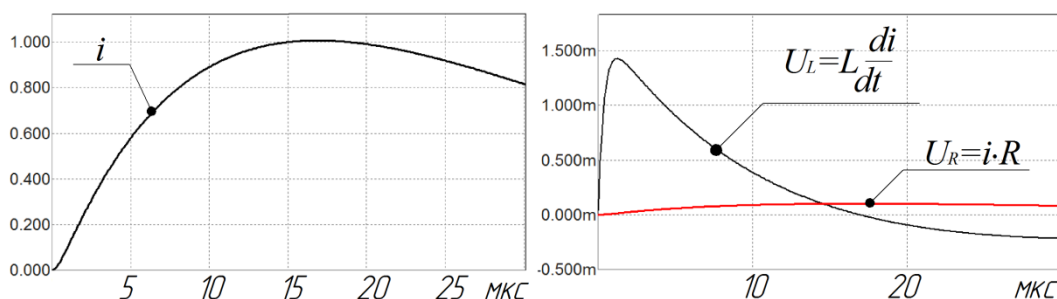


Figure 11. Graph of voltage on the shunt for a biexponential pulse with a front of 10  $\mu$ s when a current of 1 A flows with an active shunt resistance  $R = 0.1 \text{ m}\Omega$  and a shunt inductance  $L = 10 \text{ nH}$  [228]

The above shows the need to strive to reduce the inductance of the shunt. At the same time, the value of the active resistance must exceed the reactive resistance of the shunt by at least 10 times. For example, there are coaxial shunts for measuring currents up to 10 kA with active resistance from 10 m $\Omega$  to 50 m $\Omega$  with inductance from 1 nH to 3 nH.

When the current flows through the shunt, measurement errors may occur due to the skin effect and the proximity effect. These effects can lead to an increase in the active resistance of the shunt and a significant measurement error can occur. There is a sufficient number of publications and research results on these effects due to the relevance of this problem for high-frequency coils. Most analytical expressions have been obtained for inductors for various geometric parameters, but there are still no simple, theoretically justified formulas for calculating the proximity effect for arbitrary geometry. For this, computer simulation using the finite element method should be applied: COMSOL Multiphysics, ANSYS, etc.

During the flow of current in the resistive element of the shunt, as already noted, energy is released in the form of heat. When measuring currents with a large amplitude, for example, impulse currents up to 200 kA, this fact must be taken into account. The maximum heating temperature of the resistive element ( $\Delta T$ ) should not exceed 100  $^{\circ}\text{C}$ . For a typical value of the temperature coefficient of  $5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , the resistance of the resistive element increases by about 0.5%, so it does not introduce a significant error

in the measurement. When measuring single pulses, the heating process is adiabatic. The power dissipated as heat in the measuring resistor can be calculated:

$$R \int_0^{t_0} i^2(t) dt = c_p m \Delta T \quad (18)$$

where: R – active resistance of the measuring resistor, Ohm;

- m is the mass of the measuring resistor, kg;
- $c_p$  is the specific heat capacity of the measuring resistor,  $J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

From formula (18), we can find the temperature increase  $\Delta T$  (19) [229]:

$$\Delta T = \frac{J \cdot R}{m \cdot c_p} \quad (19)$$

where: J – action integral,  $A \cdot s^2$ ;

The shape of the current pulse can be described by the equation:

$$\begin{cases} i(t) = 0, & t < 0; \\ i(t) = k \cdot I_0 (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}), & t \geq 0; \end{cases} \quad (20)$$

The resistance of the disk resistor is found by formula (21) [229]:

$$R = \rho \frac{D_1 - D_2}{h \pi (D_1 + D_2)} \quad (21)$$

where: - D1 – outer diameter;

- D2 – internal diameter;

- h is the thickness of the resistive disk;

-  $\rho$  is specific resistance, Ohm m.

Based on the features of the electrical model of the shunt, taking into account parasitic effects, such as the skin effect and proximity effect and the release of energy in the form of heat, the following shunt designs are used to measure large impulse currents. The work [229] describes the design of the SHK-300M2 disk shunt for measuring impulse current up to 200 kA. Stainless steel 12X18N10T is used as a resistive element. the outer diameter of the resistive disc is 80 mm, the inner diameter

is 10 mm. In [229], the calculation of the thickness of the resistive element is given under the condition that the overheating temperature should not exceed the value of 100 °C. It is shown that the thickness of the resistive disk element is 2 mm. Take into account that the process of heating the resistive element, which takes place during the duration of the electric current up to 1.0 ms, is adiabatic. The overheating temperature is limited by the type of electrical insulation. It is noted that when using fluoroplastic insulation, the overheating temperature must be chosen no more than 100 °C. The active resistance of the shunt, which was measured by the metrological service, was 0.094 mΩ.

For a resistive element with an inner diameter of  $d_2 = 12$  mm and an outer diameter of  $d_3 = 100$  mm, the resistance was calculated using the finite element method, taking into account the skin effect (Fig. 12). The calculation was made for nichrome material with a specific resistance of  $1.1 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$  for different thicknesses  $h_1 = 1$  mm and 2 mm. For a disk with  $h_1 = 1$  mm, the ohmic resistance is  $R = 0.392$  mΩ, for  $h_1 = 2$  mm  $R = 0.196$  mΩ.

The presented data indicate that the results of shunt calibration using direct current (standard technique) have an error in determining the transformation coefficient of up to 5% (in the given case, 2.5% at a frequency of 100 kHz).

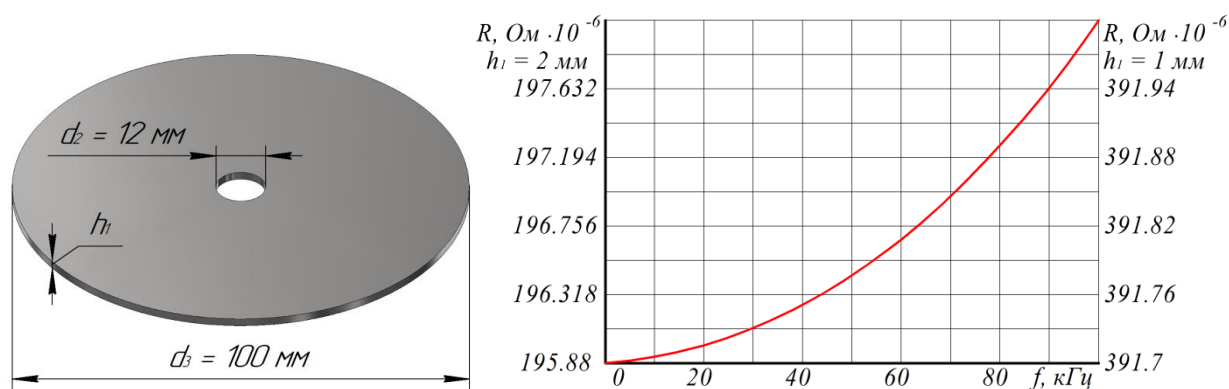


Figure 12. Dependence of the resistance of the resistive element on the frequency

Consider an alternative design [230] of a rod shunt for measuring pulsed currents of microsecond duration with a current strength of up to 75 kA. The resistive element is made in the form of segments of nichrome wire, which are located along the circumference. Calculation formulas for choosing the optimal cross-section of the resistive element and calculating the inductance are given in [230]. The sensitivity of the shunt is 350  $\mu\text{V/kA}$ . Measurement of the current in the discharge circuit of the electrophysical installation showed that the front of the current pulse of 0.6  $\mu\text{s}$  is transmitted without distortion.

To measure the simulated lightning current in the presence of the maximum regulated components A, B, and C, a rod-type design was chosen. The resistive resistance of the shunt was expected to be 0.1 m $\Omega$ , when the design was implemented, the ohmic resistance was 0.132 m $\Omega$ . For a rod shunt, the number of conductors is determined by the need to reduce the influence of the skin effect. This is illustrated by the following. For a conductor with radius  $r_0 = 5$  mm and thickness  $l = 10$  mm made of nichrome (specific resistance is  $1.1 \cdot 10^{-6}$   $\Omega \cdot \text{m}$ ), the active resistance is 0.14 m $\Omega$ . The graph of the dependence of the complex resistance of this conductor on the frequency is shown in Fig. 13.

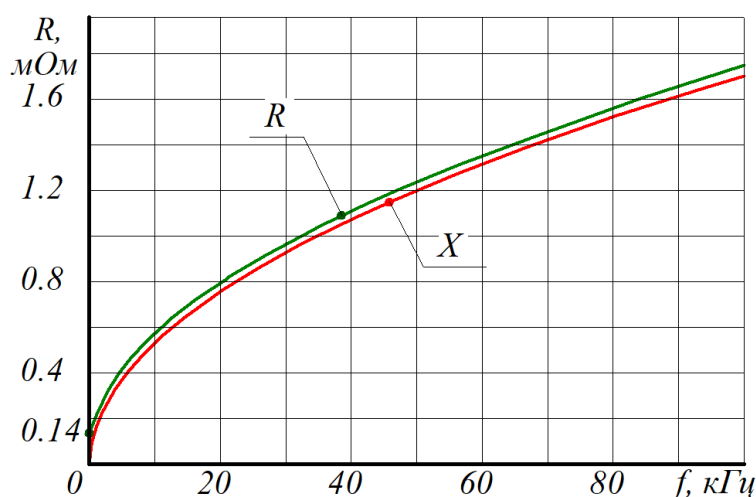


Figure 13. Graph of the dependence of the complex resistance of a conductor with a radius of 5 mm on the frequency

The graph shows that during the flow of a current pulse with a frequency of 40 kHz, which is within the time limit of the rise time of the pulse front of 10  $\mu$ s, along a conductor with a radius of  $r_0 = 5$  mm, the resistance increases almost 8 times. The design of the resistive element of the shunt is implemented using 80 nichrome conductors with a diameter of  $d_0 = 2$  mm. In Fig. 14 shows a sketch of the resistive part of the shunt, where  $r_1$  is the radius of the circle along which the resistive conductors are located,  $d_1$  is the distance between the conductors. It should be noted that the distance between  $d_1$  should be chosen so that the proximity effect does not have a significant impact.

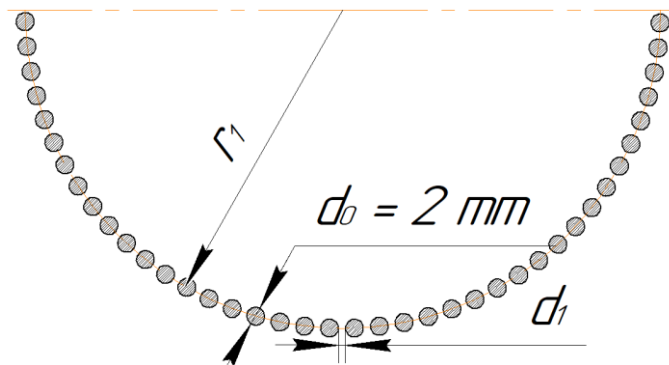
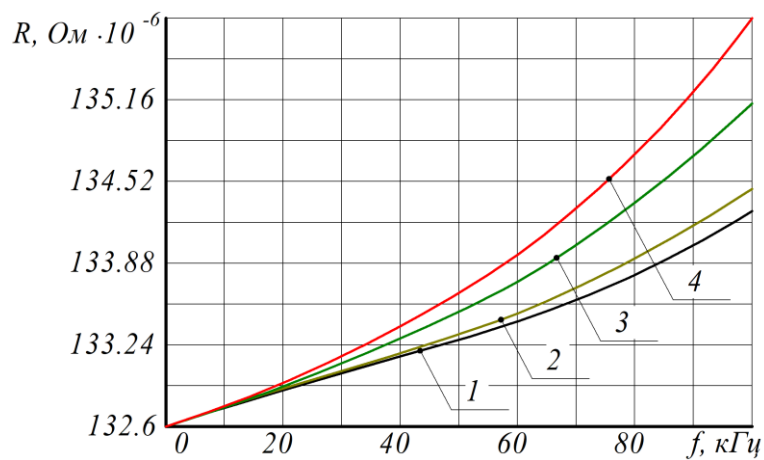


Figure 14. Design of a resistive shunt element

Figure 15 shows the graph of the dependence of the resistance of the resistive element of the shunt  $R$  on the distance between the conductors  $d_1$  on the frequency in the range up to 100 kHz.



1 –  $d_1 = 3,5$  mm; 2 –  $d_1 = 2$  mm; 3 –  $d_1 = 1$  mm; 4 –  $d_1 = 0,5$  mm

Figure 15. Influence of the proximity effect for  $d_0 = 2$  mm

It can be seen from Figure 15 that at the distance between the conductors  $d_1 = 1.75 \cdot d_0$ , the resistance of the conductor increases by less than 1%; at  $d_1 = d_0$  by 1.8%; at  $d_1 = d_0/2$  by 2.3%; at  $d_1 = d_0/4$  by 3%. Depending on the specified requirements for measurement accuracy, the appropriate values of  $d_1$  should be selected.

It is justified that for the measurement of impulse currents with a front time of  $10 \mu\text{s}$ , the diameter of the conductor  $d_0 = 2 \text{ mm}$  is sufficient so that the skin effect does not introduce a significant error. The distance between conductors  $d_1$  is chosen to be  $1.75 \cdot d_0$ . At the same time, the proximity effect does not introduce a significant error. For the analysis of the temperature mode of operation of the shunt, the following nichrome parameters were adopted: molar mass  $0.056 \text{ kg/mol}$ ; material density  $8400 \text{ kg/m}^3$ ; specific electrical resistance  $1.1 \cdot 10^{-6} \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ ; molar isobaric heat capacity  $25.2 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ ; specific heat capacity  $450 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ .

For the design of the resistive element of the shunt, which consists of 80 nichrome conductors with a radius of  $r_0 = 2 \text{ mm}$ , the heating temperature of the conductor was calculated according to formula (19) and the finite element method, taking into account the skin effect and the proximity effect. At the same time, the action integral  $J$  takes a value of  $10 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{s}$ , which corresponds to a pulsed current with an amplitude of  $200 \text{ kA}$  and a front time of  $10 \mu\text{s}$  and a decay time of  $350 \mu\text{s}$ .

The heating temperature of the resistive element of the shunt, calculated according to formula (19), was  $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . The value  $\Delta T = 46.7 \text{ }^\circ\text{C}$  was obtained during calculations using the finite element method. The temperature distribution on the shunt structure, obtained during calculations using the finite element method, is shown in Figure 16 a). The graph of the dependence of temperature  $T$  on time is presented in Figure 16 b) during the flow of a biexponential pulse  $i(t)$  with a form of  $10/350 \mu\text{s}$ .



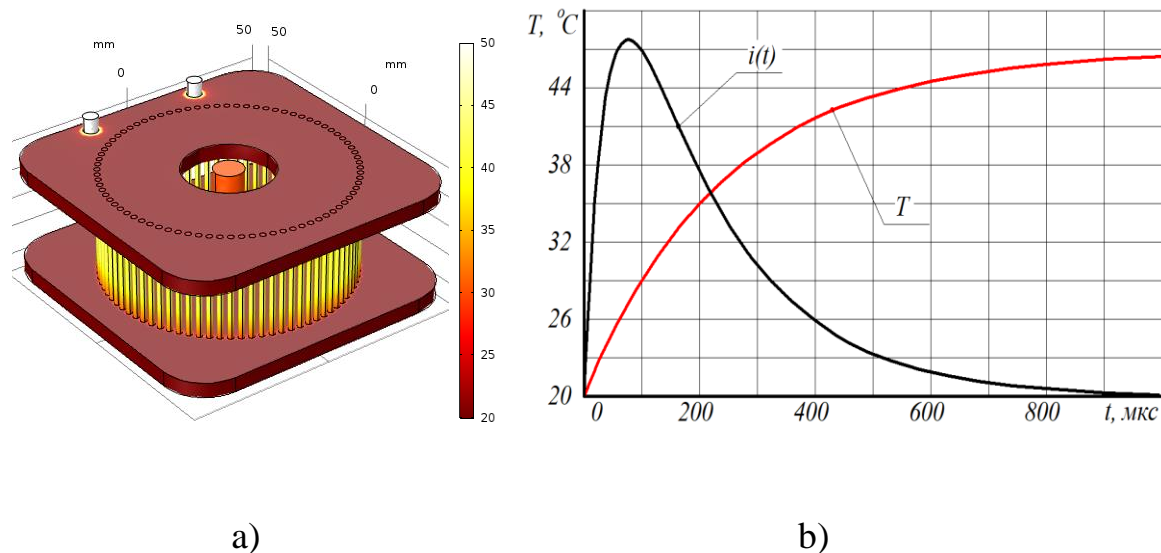


Figure 16. Temperature field of the shunt

It can be seen that due to the selected design of the shunt, it is possible not to exceed the temperature of the resistive element of  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . For a resistive disc with  $d_2 = 12\text{ mm}$  and  $d_3 = 100\text{ mm}$  made of nichrome, the heating temperature of the conductor was calculated according to formula (19) and the finite element method, taking into account the skin effect for the integral of the current action  $J = 10 \cdot 10^6\text{ A}^2 \cdot \text{s}$ . The calculation according to formula (19) does not take into account the uneven spread of the current, so it allows you to estimate only the average temperature of the resistive element. For a nichrome disk with a thickness of  $h_1 = 1\text{ mm}$ , the average temperature was  $\Delta T = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Figure 17 shows the temperature field of disk elements of shunts with a thickness of  $2\text{ mm}$  (a) and  $1\text{ mm}$  (b) for a time instant of  $1\text{ ms}$ . The temperature distribution along the radius for different moments of time is presented in Figure 18.

The current spreads unevenly across the resistive element. This leads to uneven heating, and when the thickness of the disc  $h_1 \leq 1\text{ mm}$  and the resistance of the resistive element is about  $0.2\text{ m}\Omega$ , there is local overheating with a temperature higher than  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . This can cause the active shunt resistance to increase significantly over time due to contact burn-in.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

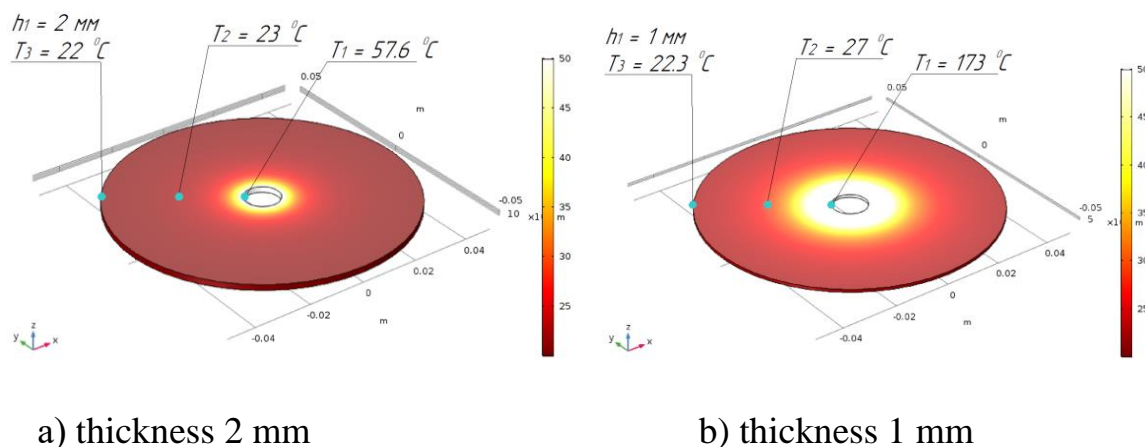


Figure 17. Temperature field of disk shunt

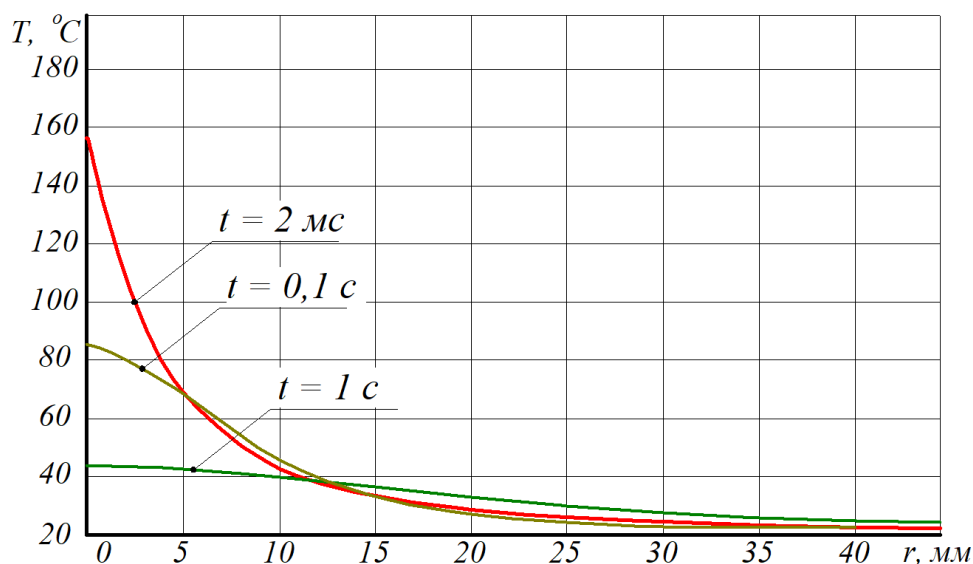


Figure 18. Temperature distribution along the radius of a disk with a thickness of 1 mm

To confirm the calculations of the heating temperature of the shunt elements described above, a physical experiment was conducted. Two samples of resistive shunt elements were used. The first sample is a resistive disc made of nichrome with a thickness of  $h_1 = 0.15$  mm with an inner diameter of  $d_2 = 5$  mm and an outer diameter of  $d_3 = 120$  mm. The second sample is a wire made of nichrome with a radius of  $r_0 = 5$  mm and a length of 140 mm. A photo of the samples fixed on the test table is presented in Figure 19.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Samples of the resistive element were connected to the discharge circuit of the pulse current generator. The temperature of the samples was measured using a Xintest HT-2 thermal imager. The parameters of the thermal imager are as follows: thermal sensitivity  $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperature measurement range from  $-20$  to  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperature measurement accuracy  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , it is possible to adjust the emission coefficient from 0.1 to 1, image capture frequency 6 Hz. The initial temperature distribution was  $29.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (the value is determined at the point of intersection).

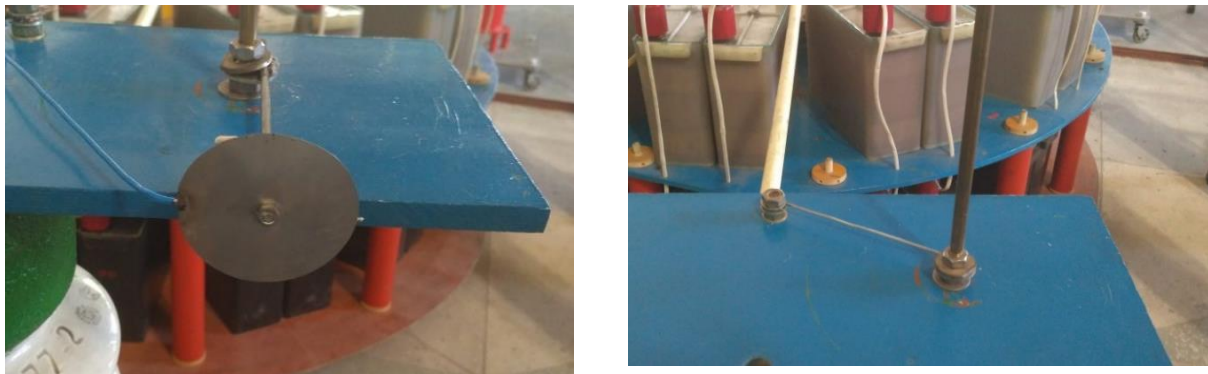


Figure 19. Photo of the samples fixed on the test table

Resistive disk. To measure the heating temperature of the resistive disk, two variants of the test were carried out, as shown in Figure 20. The variants differ in the number of current output points: 4 (a) and 1 (b).

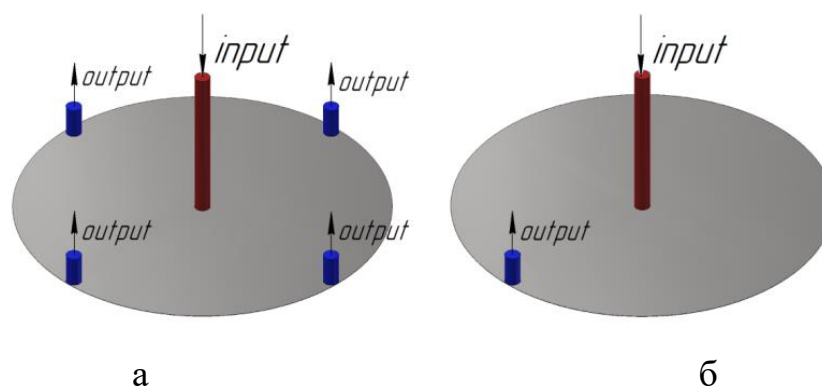


Figure 20. Test options

The test results according to option a) are shown in Figure 21 for a discharge current of 28.44 kA (oscillogram on the left), the temperature determined by a thermal imager is  $32.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . It should be noted that the thermal imager registers the average

temperature of the object, because it is at a distance of 3 m. Approaching the test area is prohibited by safety regulations and the limitation of operating conditions of the thermal imager regarding the level of magnetic field intensity.

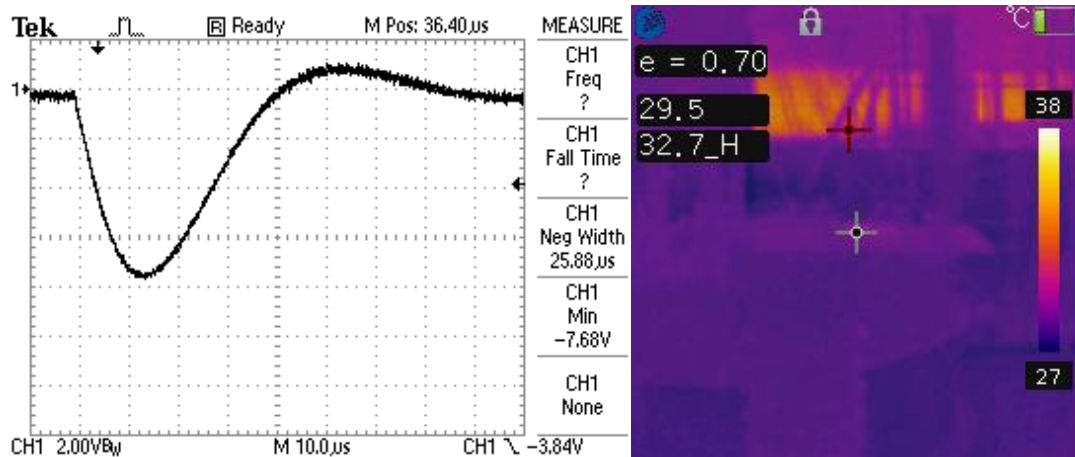


Figure 21. Oscillogram of the current of 28.44 kA and the result of measuring the temperature of the sample according to option a)

Calculation by the finite element method for the considered option is shown in Figure 22, which shows the temperature distribution along the radius of the disk for a line directed to one of the output contacts. Calculation of the temperature field of the disc element shows that the overall temperature increase is insignificant, so the thermal imager did not record local heating.

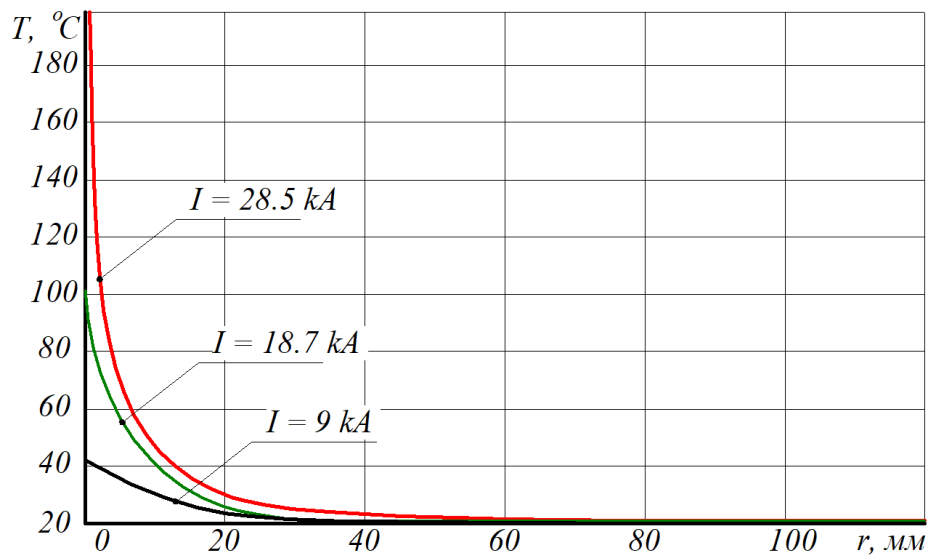
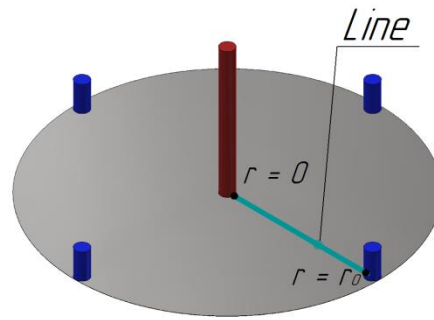
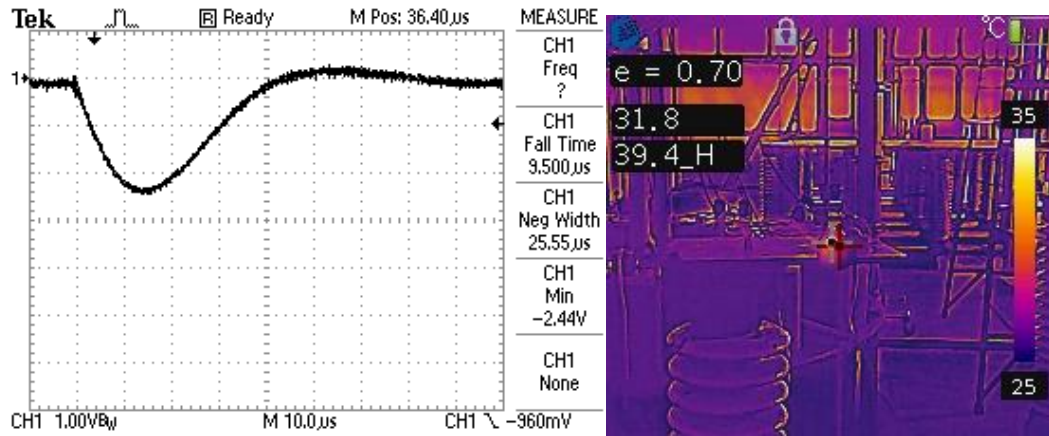


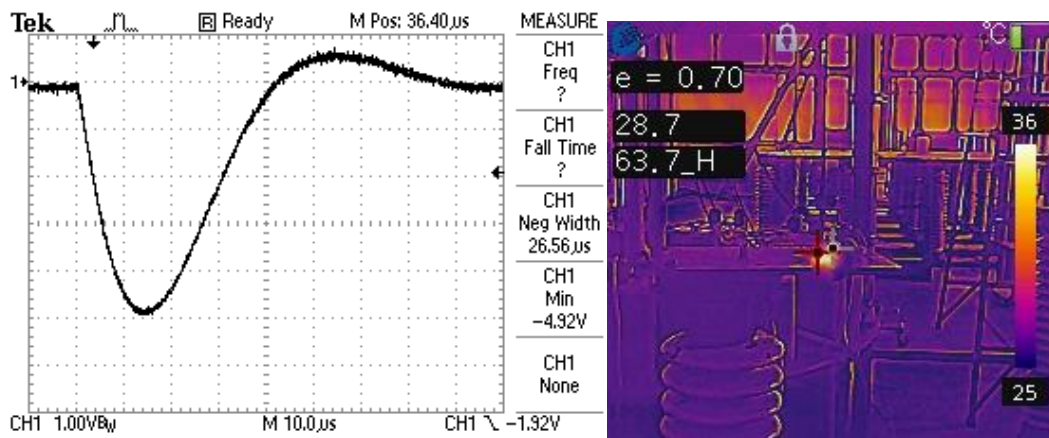
Figure 22. Temperature distribution along the disk radius

The results of the test according to option b) are shown in Figure 23, which shows the oscillograms of the discharge current and temperatures measured by a thermal imager for three values of the current strength. The calculation of the distribution of the temperature field on the sample for a time instant of 1 ms is shown in Figure 24.

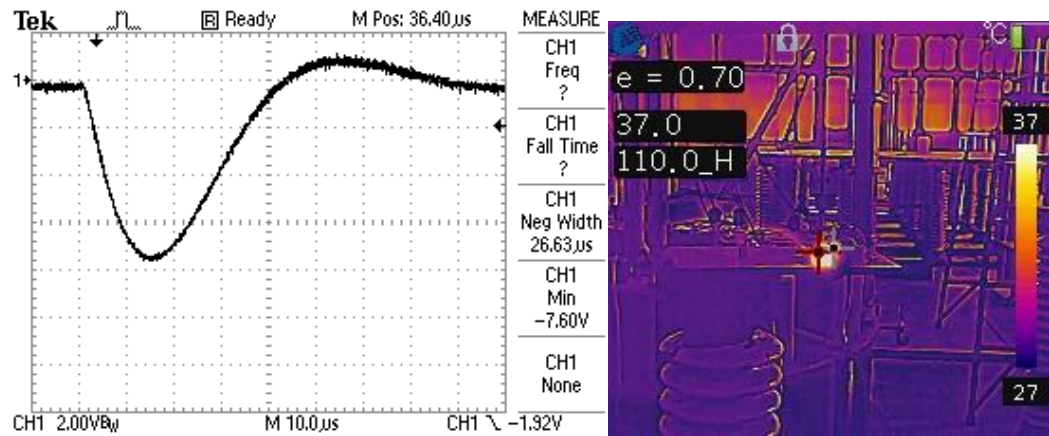
# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Current 9 kA



Current 18,2 kA



Current 28,1 kA

Figure 23. Current oscillograms and the result of measuring the temperature of the sample according to option b)



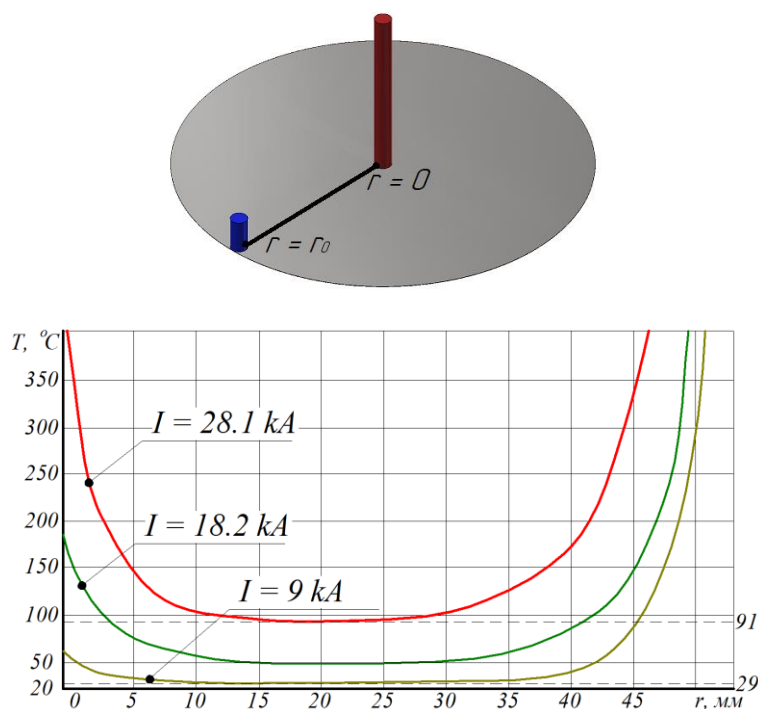


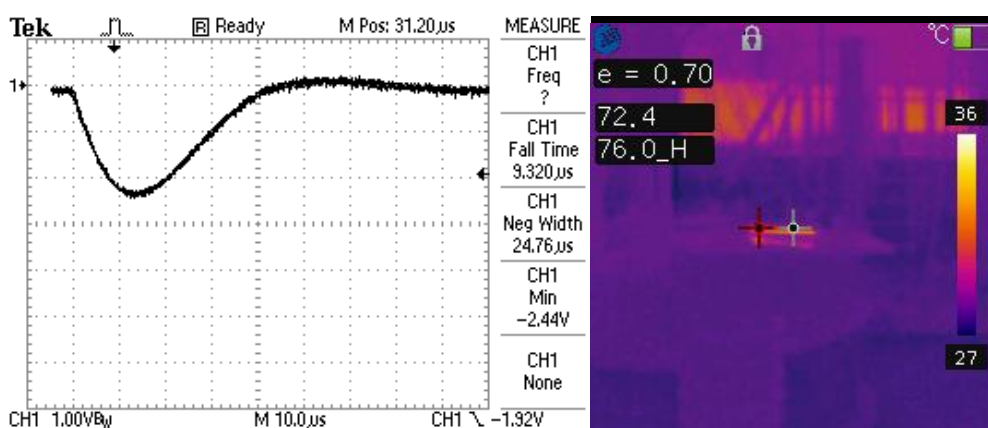
Figure 24. Temperature distribution along the disk radius  
for a time, instant of 1 ms

On the thermograms from the thermal imager, it can be seen that the cursor for calculating the temperature is tied to a point that is located approximately between the input and output of the current. And it is necessary to take into account that the thermal imager recorded the temperature field at the moment of time  $\approx 0.5$  s. During this time, the temperature was distributed between the current inputs and the sample. The sample cools quickly due to its low heat capacity. When comparing the calculated and measured data, it can be seen that the thermal imager recorded a temperature increase of  $\Delta T = 7.6$  °C for a current of 9 kA. According to the results of the calculation for other currents, the temperature increase is for the current 18.2 kA from the thermogram  $\Delta T = 35.0$  °C, from the calculation  $\Delta T = 28$  °C; for a current of 28.1 kA from the thermogram  $\Delta T = 73.7$  °C, from the calculation  $\Delta T = 71$  °C. The difference between experimental and calculated data does not exceed 15%.

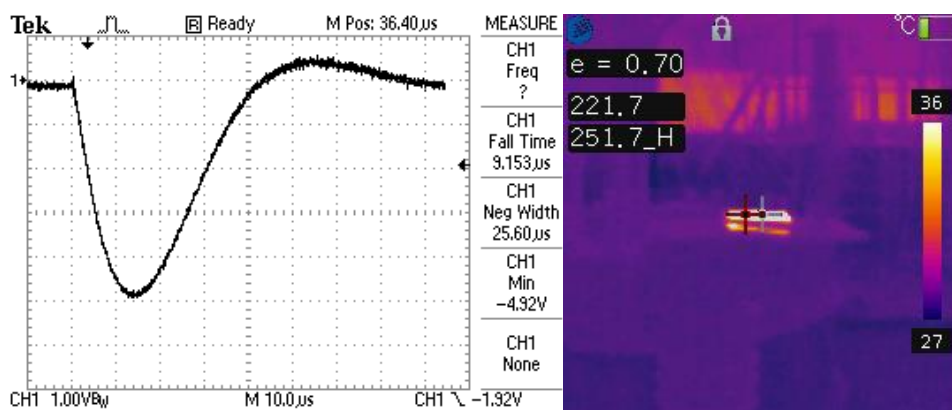
It should be noted that when the current strength increases and, accordingly, the overheating temperature increases, the difference increases due to the fact that the cooling process is carried out faster than the thermal imager records the temperature.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Flow of pulsed current along a circular conductor. For a round conductor, the overheating temperature was calculated according to formula (19). For a current form of 10/350  $\mu\text{s}$ , the overheating temperature for 9 kA is  $\Delta T = 50.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ; for 18 kA  $\Delta T = 204 \text{ }^\circ\text{C}$ . When calculating by the finite element method, the following values were obtained: for 9 kA  $\Delta T = 56 \text{ }^\circ\text{C}$ ; for 18 kA  $\Delta T = 222.4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Oscillograms of discharge current and temperature measured by a thermal imager are presented in Figure 25.



Current 9,0 kA



Current 18,0 kA

Figure 25. Oscillograms of the discharge current and the temperature measured by a thermal imager for a circular conductor

The results of temperature measurement showed that the overheating temperature for 9 kA  $\Delta T = 42.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ; for 18 kA  $\Delta T = 222.2 \text{ }^\circ\text{C}$ . The difference between experimental and calculated data does not exceed 10%.



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

From the given data, it is clear that both considered shunt designs can be used to measure large impulse currents. Each design has its advantages and disadvantages.

A disc shunt has a smaller inductance and smaller geometric dimensions than a rod shunt. However, when a large-amplitude current flows, significant electrodynamic forces arise, so this fact must be taken into account during design. This fact is confirmed by the results obtained in the laboratory of NDPKI "Molniya", where the disk shunt was destroyed during exposure to a current with an amplitude of 200 kA simultaneously with the supply of the C component of the lightning current.

The rod shunt has a higher inductance, however, in this type of structure, there are no large electrodynamic forces sufficient to destroy the structure. Due to the design, the distribution of the thermal field is uniform, in contrast to the disk shunt.

Based on the results of the research, the following conclusions should be drawn:

1. It has been established that mathematical modeling is necessary to determine the parameters of disturbances that occur on long cable lines during the action of electromagnetic fields of natural and artificial origin. The need is not due to the possibility of carrying out appropriate physical modulation.

2. To take into account the real spatial arrangement of cables, which is usually complex in three-dimensional space, placed in the body of aerospace equipment, analytical formulas are not sufficient to ensure high reliability of the results. It is shown that the application of mathematical models of numerical methods is promising and requires appropriate development.

3. Experimental studies of the immunity of aerospace engineering objects to the influence of powerful electromagnetic interference regulated by current standards require the use of specialized measuring equipment. It is shown that taking temperature effects into account can lead to an error of up to 5% in the results of measuring lightning current. Which, taking into account other influences, leads to going beyond the limits of the error regulated by the standards.

4. A number of aspects related to the improvement of the technology of applying physical and mathematical models to increase the electromagnetic stability of aerospace engineering samples are highlighted.

**SECTION 4. INNOVATIVE TECHNOLOGIES**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4.4.1

**4.1 Розробка автоматичної системи керування елетропристроями житлового будинку на базі концепцій Smart технологій**

Науково-технічний прогрес швидкими темпами крокує вперед і здавалося нездійсненні фантастичні ідеї на сьогодні перетворюються в реальність. Одним із пріоритетних напрямів такого прогресу є автоматизація, яка звільняє людей від важкої праці і розвивається відповідно до вимог ефективного керування об'єктами.

З тих пір, як з'явилися мікропроцесори, в сфері автоматизації розпочався новий період, період розвитку новітніх інтелектуальних технологій, які стали невід'ємною частиною життя сучасного суспільства. З кожним днем все більшої популярності набирають Smart технології не тільки у всіх галузях промисловості, але й в побуті. Суспільство поринає у новий світ, світ взаємодії інтернету та інтелектуальних пристроїв. Технічний прогрес, який направлений на підвищення соціальних та економічних умов, має вплив не тільки на ринкове становище, але докорінно змінює сьогоденне покоління людей, яке вже не уявляє своє життя без смартфонів, комп'ютерів, електронних карт, GPS-навігаторів та «розумних» пристроїв. Реалізуються такі нові проєкти, як Smart Cities, що означає розумні міста, Smart Homes – розумні будинки, Smart Grid – розумні мережі, Smart Education – розумна освіта та ін. Інтелектуальні інноваційні технології створюють для суспільства нові підходи та принципи виконання технологічних процесів не тільки в сільськогосподарських і промислових виробництвах, але й в побуті. Ці технології не лише роблять життя цікавішим, але використання інтернет-доступу дає можливість на відстані керувати електричними пристроями будь-якої будівлі [231, с.104].

Сучасна автоматизація, яка об'єднує інформаційні, телекомунікаційні, обчислювальні технології та інтелектуальні пристрої, вдосконалює технологічні

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

процеси та їхні системи керування, наділяє їх новими можливостями, а тим самим робить їх ефективними, надійними, безпечними та саме головне спроможними економити електроенергію, що на сьогоднішній день є дуже актуальним. З цією метою на міжнародному рівні задіяно комплекс механізмів та практичних інструментів економічного стимулювання заходів із впровадження сучасних енергозберігаючих технологій [232, с.8]. Крім того, завдяки цим конвергентним технологіям, створюється можливість, яку надає Інтернет речей (Internet of Things або IoT), дистанційної взаємодії людей і об'єктів через Інтернет в будь-якому місці і в будь-який час. Інтернет речей, що створює новий етап розвитку Інтернету, об'єднує реальні речі у віртуальні системи, що здатні вирішувати абсолютно різні завдання [233, с.8]. Завдяки цьому певні дії фактично виконуються без втручання людини, обмежуючись тільки інформацією, яка надходить від відповідних датчиків, за рахунок чого підвищується алгоритм функціонування системи. При цьому на першу ланку виходять системи безпроводного зв'язку, які все частіше використовуються в якості рушійної сили для розвитку технології інтелектуального контролю та управління додатками. IoT ще називають четвертою індустріальною революцією, яка не лише спростить нам побут, а й дозволить великим підприємствам автоматизувати багато процесів та ухвалювати ефективні рішення на основі аналізу величезних обсягів даних [234]. Тобто підключені до інтернету пристрої дадуть можливість більш раціонально керувати ресурсами, що фактично зменшить витрати. Ці переваги протиставлені скептицизму щодо здійснення капітальних інвестицій в інноваційні та комунікаційні технології, а це свідчить про те, що у короткостроковому періоді буде спостерігатися подальша експансія подібних новацій в усі сфери життєдіяльності населення України [235, с. 118], тому пристрої IoT стануть невід'ємною частиною не тільки багатьох галузей промисловості, але й побуту суспільства, що спричинить підвищення необхідності доступу до інформаційно-обчислювальних ресурсів завдяки прогресивного підходу до мережевих структур інтернету речей та забезпечення оперативного доступу до них.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Одним словом концепції Smart технологій являють собою інноваційний підхід до проектування, будівництва та модернізації будівель, що забезпечує споживачів підвищенням комфортності і безпеки при оптимальних затратах та зниженнях експлуатаційних витрат.

Автоматизація житлових будівель, що реалізує концепції і стратегії Smart технологій та інноваційні рішення для підвищення ефективності та використання всіх ресурсів [236], на сьогоднішній день є актуальною технологією, яка утворює інтелектуальну систему управління для забезпечення узгодженої роботи всіх інженерних мереж будинку [237, с.54]. При цьому вся техніка та прилади об'єднані в централізовану мережу, що дозволяє користувачеві повністю контролювати кожен куток [238, с. 119], та дистанційно керувати всіма електропристроями. Така система, її ще називають Smart Home, дозволяє розвантажити сучасне суспільство, звільнити його від безлічі проблем та рутинних справ, вивести побут на принципово новий рівень комфортності та безпеки, зменшити споживання електроенергії, що на сьогоднішній день являється найважливішим питанням.

Цим питанням займається безліч вітчизняних та зарубіжних науковців, які для вирішення такої складної задачі пропонують використання прогресивних технологій. Але в кожного є своє бачення. Існує декілька конкуруючих протоколів та технологій, проте залишаються не вирішеними ще дуже багато питань, особливо розроблених і впроваджених у практику проєктів з розробки гнучкої автоматичної системи із застосуванням високотехнологічних пристроїв та програмних засобів.

Обґрунтовуючи всі можливі методи підвищення енергозбереження і умов життя людей постало питання створення нових організаційних і економічних засобів, що обумовлені стрімким розвитком інтелектуальних пристроїв та інформаційних технологій, що здатні систематизувати існуючі підходи та надавати побутовим приладам інтелектуальних властивостей. Використання таких сучасних автоматизованих систем, оскільки вдосконалення матеріальної бази потребує на певному етапі проривних технологічних інновацій [239, с.207],

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

має багато переваг. Системи, які пропонують відомі фірми, не кожний може собі дозволити придбати, зважаючи на їх велику вартість, тим більше ці компанії надають послуги на якийсь конкретний проєкт.

Оцінюючи всі аргументи та враховуючи те, що не має чітких рекомендацій щодо використання програмних продуктів було розроблено та виготовлено універсальну автоматичну систему керування, яка являє собою сукупність апаратних та програмних засобів, що спрямовані на зниження витрат електроенергії і тепла, за рахунок наявності систем діагностування, обробки інформації, інтеграції та контролю.

Розроблена та виготовлена автоматична система направлена на дистанційне керування всіма технологічними процесами житлового будинку за допомогою комп'ютера, планшета, телефона або спеціального пульта керування. Ця система контролює всі конкретні ситуації, які виникають в будинку та реагує на них згідно заданих параметрів, які поступають від відповідних датчиків. В цій системі поєднано багато інноваційних розробок, що зробили її унікальною з точки зору безпеки і комфортабельності, що послужило власнику житла не турбуватися під час його відсутності, так як будинок знаходиться завжди під його контролем завдяки концепції Smart технологій та інноваційного інтелектуального обладнання. Цю автоматизовану систему можна розглядати як єдину інформаційно-керуючу систему, яка набирає статусу «розумної», що здатна забезпечити:

- мінімізацію витрат не погіршуючи показник стійкості;
- широким спектром самодіагностування;
- достовірною та широкомасштабною інформацією про стан та зміну контрольованих параметрів будівлі в режимі реального часу;
- самовідновленістю в рамках дотримання надійності та багатофункціональністю.

А саме головне, що ця система набагато дешевша та може виконувати значно більше функцій, ніж ті, що пропонуються відомими фірмами.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Таку автоматизовану систему можна використовувати не тільки для автоматизації житлового будинку, але й для підтримання мікрокліматичних параметрів теплиці, та автоматизації технологічних процесів виробничих приміщень.

Тобто в рамках концепції Smart технологій система автоматизації технологічних процесів в любых приміщеннях розглядається як єдина інформаційно-керуюча система, яка набирає статусу «розумної» та здатна забезпечити:

- гнучкість;
- багатofункціональність;
- мінімізацію витрат;
- зміну параметрів в режимі реального часу;
- надання широких меж керування;
- розширення спектру самодіагностування;
- самовідновлення в рамках дотримання надійності;
- забезпеченість повномасштабною інформацією.

Враховуючи всі ці фактори розроблена та виготовлена універсальна автоматична система керування електропристроями житлового будинку, яка реалізує інноваційні пристрої, ще їх називають «розумними», є комплексною системою, яка працює як єдине ціле. Ця система реалізує задані функції на базі новітніх «розумних» пристроїв і складається з:

- системи освітлення;
- системи створення затишку в спальній кімнаті;
- системи опалення;
- системи вентиляції;
- системи водопостачання;
- системи керування електроприводом;
- системи обліку використання електроенергії;
- системи аудіо-відеоспостереження.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

За рахунок концепції Smart технологій всі перелічені вище системи функціонально пов'язані між собою та об'єднані у єдину мережу з виходом в Інтернет (рис. 1).

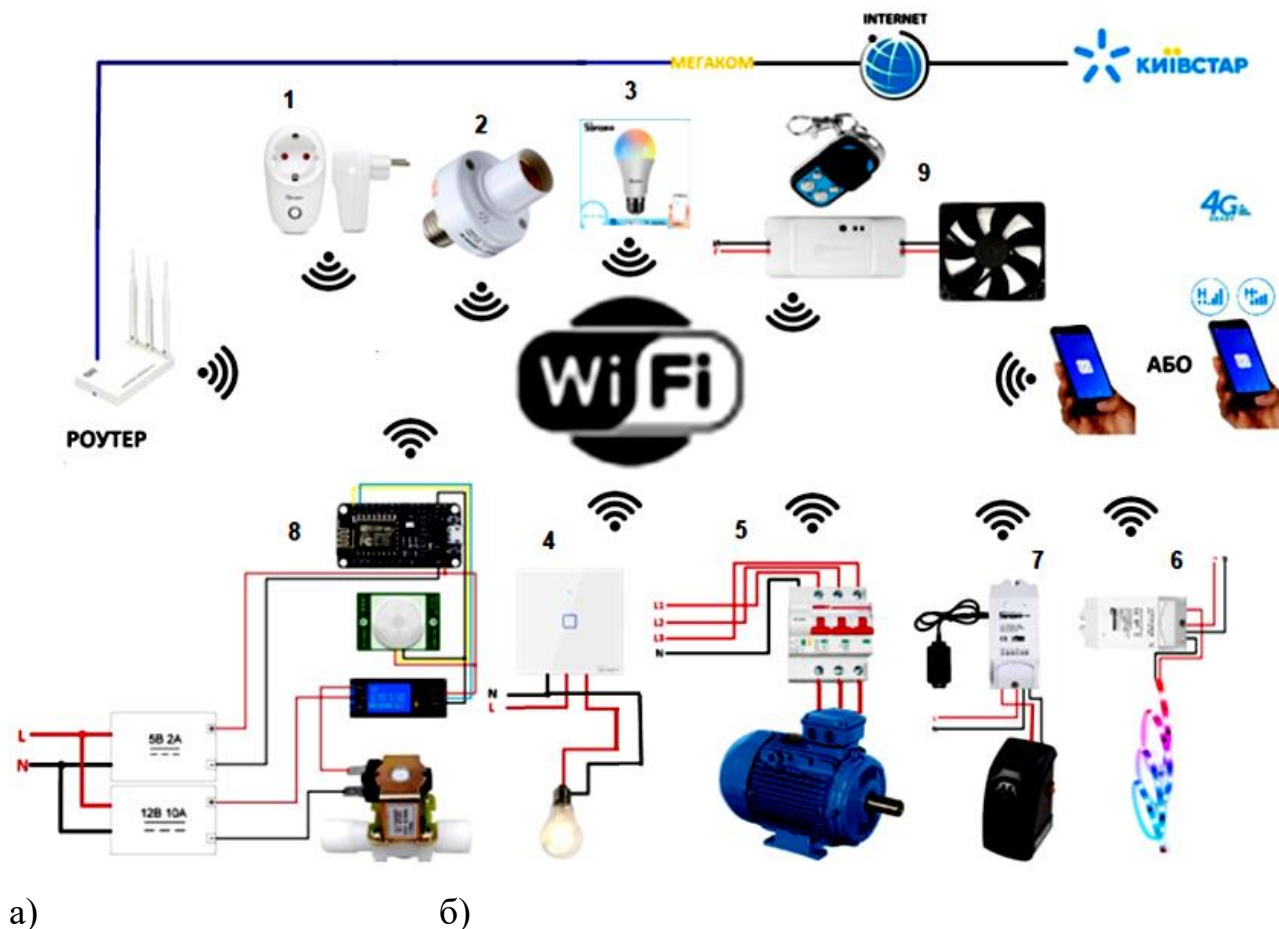


Рис. 1 – Підключення інтелектуальних пристроїв

1 - смарт-розетка Sonoff S26, керує живленням камери; 2 - смарт-патрон Sonoff Slampher, має ті ж самі функції що й смарт-розетка Sonoff S26, але використовується для звичайної лампочки; 3 - смарт-лампа Sonoff Lamp, вкручується в звичайний патрон; 4 - смарт-вимикач Sonoff TX 0EU1C, керує лампою розжарення; 5 - смарт автоматичний вимикач HOCH ZJSB9-80Z, керує 3-х фазним електродвигуном; 6 - смарт реле Sonoff TH10 з датчиком температури і вологості повітря, керує обігрівною установкою; 7 - смарт реле Sonoff POW з вимірюванням в реальному часі напруги, струму, споживання електроенергії в "Вт", керує світлодіодною стрічкою, хоча можна його підключати до любого електропристрою; 8 - розроблений смарт-пристрій/реле на базі мікросхеми NodeMcu з PIR датчиком (датчик руху), керує електромагнітним клапаном подачі води; 9 - смарт реле Sonoff RF з радіо-пультом (крім смартфона і фізичної кнопки на самому пристрої ще також можна керувати живленням підключеного приладу/пристрою за допомогою радіо-пульта), керує вентиляційною установкою.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

На сьогоднішній день ринок прискореними темпами заповнюється різноманітними «розумними» пристроями. Зі всього різноманіття, обґрунтовуючи їхні характеристики і вартість, було вибрано інтелектуальні пристрої типу Sonoff. «Розумні» пристрої – це інтерактивні електронні гаджети, які розуміють прості команди і здатні підключатися до Інтернет мережі для обміну інформацією.

За допомогою комп'ютера або смартфона можна змоделювати різноманітного роду житловий будинок і умовно на ньому розмістити задане інтелектуальне обладнання з урахуванням особливостей будівлі. Кожному пристрою задають сценарій роботи такий, який необхідний користувачу в залежності від зміни зовнішніх і внутрішніх умов. Налаштування роботи пристроїв, за потребою, можна змінювати в будь-який час, з будь-якої точки перебування користувача незалежно від відстані.

Розглянемо кожну систему окремо.

Освітлення один із процесів, що збільшує тривалість робочого часу, створює сприятливі умови переміщення в будинку у нічний час та підвищує комфортність людей.

В цій системі використано декілька типів освітлювальних пристроїв:

- з використанням бездротового WiFi керованого електричного патрона типу Sonoff Slampher, який передає інформацію у хмарну платформу через WiFi маршрутизатор, що дозволяє на відстані керувати роботою лампи будь-якого типу;

- з використанням розумної WiFi світлодіодної лампи типу Sonoff Lamp, яка розширює можливості сучасного дизайну інтер'єру завдяки зміні яскравості лампи та кольорової гами.

- з використанням сенсорного вимикача Sonoff TX T0EU, який у порівнянні із звичайними вимикачами, вмикає або вимикає освітлення в приміщенні як в ручному режимі так і дистанційно. Sonoff TX T0EU виконаний в білому кольорі з м'яким блакитним підсвічуванням і сенсорною панеллю. Так як даний вимикач сенсорний, то освітлення можна вмикати або вимикати навіть мокрими руками.



У порівнянні зі звичайними вимикачами сенсорний вимикач має додаткові функції:

- можна в реальному часі спостерігати за напругою і струмом;
- встановлювати межі потужності пристрою для уникнення перевантаження;
- протягом 100 днів пристрій записує дані про споживання електроенергії.

Усіма типами освітлювальних установок можна керувати за допомогою додатку eWeLink, що встановлений на комп'ютері і смартфоні. Також можна налаштовувати роботу згідно прописаного сценарію, тобто графіка та вмикати зворотний відлік часу на заплановане ввімкнення і вимкнення.

За допомогою широких меж регулювання всі джерела світла, незалежно від їх типу і розміщення, можна регулювати в залежності від створеної ситуації, змінюючи їх гаму та яскравість, або вмикати чи вимикати їх в будь-якій послідовності (рис. 2).

При потребі можна налаштовувати роботу освітлювальних пристроїв залежно від датчика руху, а також задавати час затримки та відстань виявлення руху. При цьому економиться електроенергія та підвищується комфортність людей. Додаткові сценарії можна створювати при використанні датчика освітленості.

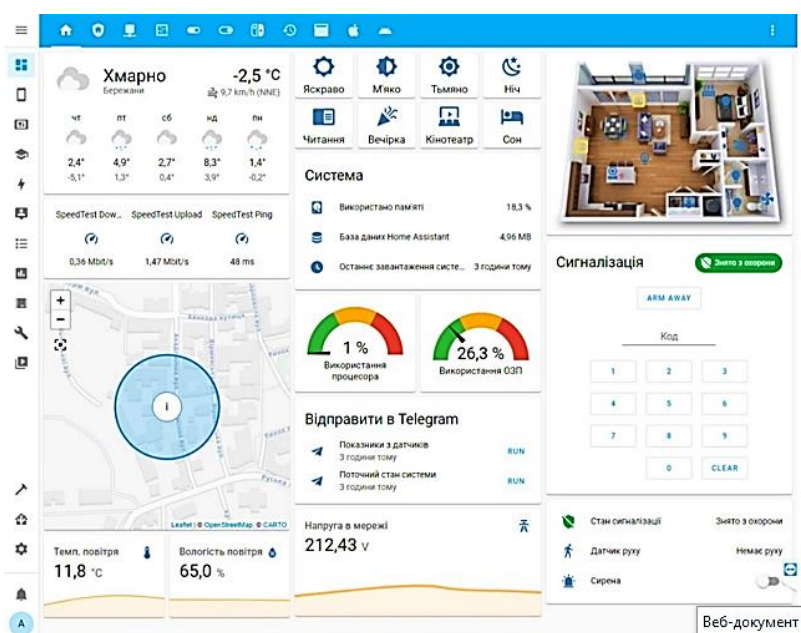


Рис. 2 – Система керування освітлювальними пристроями

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Крім того, в момент відсутності людей у будинку, можна імітувати їх присутність. Для цього необхідно налаштувати програму таким чином, щоб освітлення вмикалося та вимикалося то в одній, то в іншій кімнаті, а в нічний час повністю вимикалося, або залишилося тільки чергове освітлення. А зранку, поки ще не розвиднилося, знов вмикалося світло, а за деякий час повністю вимикалося. Таким чином стороннього спостерігача можна переконати у присутності людей в будинку.

Також є можливість поділитись керуванням освітлювальними пристроями з іншими користувачами. Тобто пристрої можуть бути доступними для інших користувачів. Вони можуть вмикати або вимикати пристрої з будь-якого місця і стан пристрою буде синхронно відображатися у додатку кожного користувача.

Система опалення, яка служить для створення оптимального рівня температури, що сприяє підвищенню працездатності, комфортному відпочинку та запобіганню захворювання, керує опалювальною установкою за допомогою реле Sonoff TH10, що виконує роль WiFi розумного вимикача і керується з екрана комп'ютера чи смартфона, або за рахунок датчика температури та вологості повітря SI7021. Ґрунтуючись на покази датчика температури опалювальна установка вмикається і вимикається при певних заданих параметрах температури. Під час довготривалої відсутності людей або на нічний період роботу системи опалення можна налаштувати таким чином, що в цей час вона буде переходити в економний режим роботи, що забезпечується значна економія споживання електроенергії.

Значення вологості і температури можна спостерігати у програмі eWeLink у реальному часі, а також встановити автоматичний режим, при якому покази датчика будуть висвітлюватися на екрані монітора якщо температура та вологість будуть досягати заданого значення.

Система вентиляції контролюється інтелектуальним реле Sonoff Basic RF, яким можна керувати як через WiFi так і за допомогою RF пульта. В залежності від показів датчика вологості і температури можна регулювати швидкість вентилятора (рис. 3).

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Рис. 3 – Графіки історії температури і вологості приміщення

Для системи водопостачання, на відміну від інших систем, виготовлено саморобне «розумне» реле на базі багатофункціональної мікропроцесорної плати NodeMCU з одноканальним електромагнітним реле Tongling. Таке реле, по-перше, набагато дешевше на відміну від реле типу Sonoff, а по-друге може виконувати набагато більше функцій і до нього можна приєднувати інші установки, по-третє в коді цього реле прописано функцію, якої немає у готових реле, за допомогою якої є можливість під'єднуватись до резервної WiFi точки в разі недоступності головної WiFi мережі. Тобто, яка мережа має найвищий сигнал, то до тієї й підключається саморобне «розумне» реле. Це реле, оскільки підключається до власного серверу смарт-системи, має швидкодію та надійність набагато вищі, у порівнянні з готовими рішеннями, тому, що власним сервером легше керувати ніж від Sonoff китайського виробника. Це реле керує електромагнітним клапаном подачі води.

Система керування електроприводом керується за допомогою трьохполюсного автоматичного WiFi вимикача HOCH ZJSB9-80Z, 16A (Android), яким можна керувати дистанційно і контролювати його стан та електричні характеристики мережі за допомогою мобільного пристрою, комп'ютера або планшета (рис. 4). Цей автоматичний вимикач можна використовувати для окремих електричних пристроїв або групи пристроїв, підключених до однієї лінії, проте, максимально допустима сила струму всіх

підключених приладів не повинна перевищувати 16А. Дистанційне керування виконується за допомогою додатку eWelink. Підтримка Amazon Alexa та Google Assistant дають можливість голосового керування, що спрощує використання цього автомата.

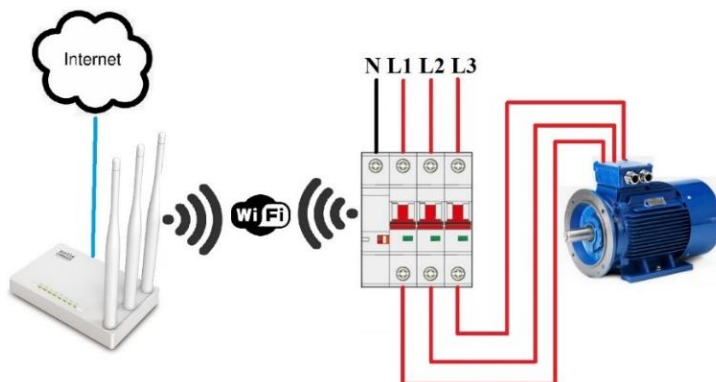


Рис. 4 – Керування трьохполюсного автоматичного WiFi вимикача НОСН  
ZJSB9-80Z

Обмін інформацією між автоматичним WiFi вимикачем і програмою виконується за допомогою Інтернет мережі. Так як автомат не має власного виходу в Інтернет, то його підключено через WiFi роутер. Для підвищення стабільної передачі і прийому сигналів WiFi в автоматі вбудований мікропроцесор.

Наявність в автоматичному WiFi вимикачі механічного пристрою робить його більш надійним та довговічним, ніж прилади, що мають електромагнітні реле, які служать як вимикач. Автоматичний WiFi вимикач, як і інші механічні вимикачі, має захист від перевантаження, струму короткого замикання та ізолюючий захист.

Система обліку витрати електроенергії складається з пристрою типу Sonoff POW R2, який працює як вимикач або реле з вимірюванням споживаної потужності, струму і напруги, незалежно до якого пристрою це реле буде підключено.

Реле Sonoff POW R2 може захищати установки та прилади від перевантажень, для цього необхідно встановити порогові значення струму,

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

напруги та потужності. А також працює як калькулятор обліку електроенергії (kWh), який може вимірювати споживання електроенергії протягом певного періоду. В будь-який час на екрані комп'ютера або смартфона можна вивести графік історії споживаного струму і напруги за будь-який період спостереження (рис. 5). В даний момент це реле контролює роботу напівпровідникової стрічки.

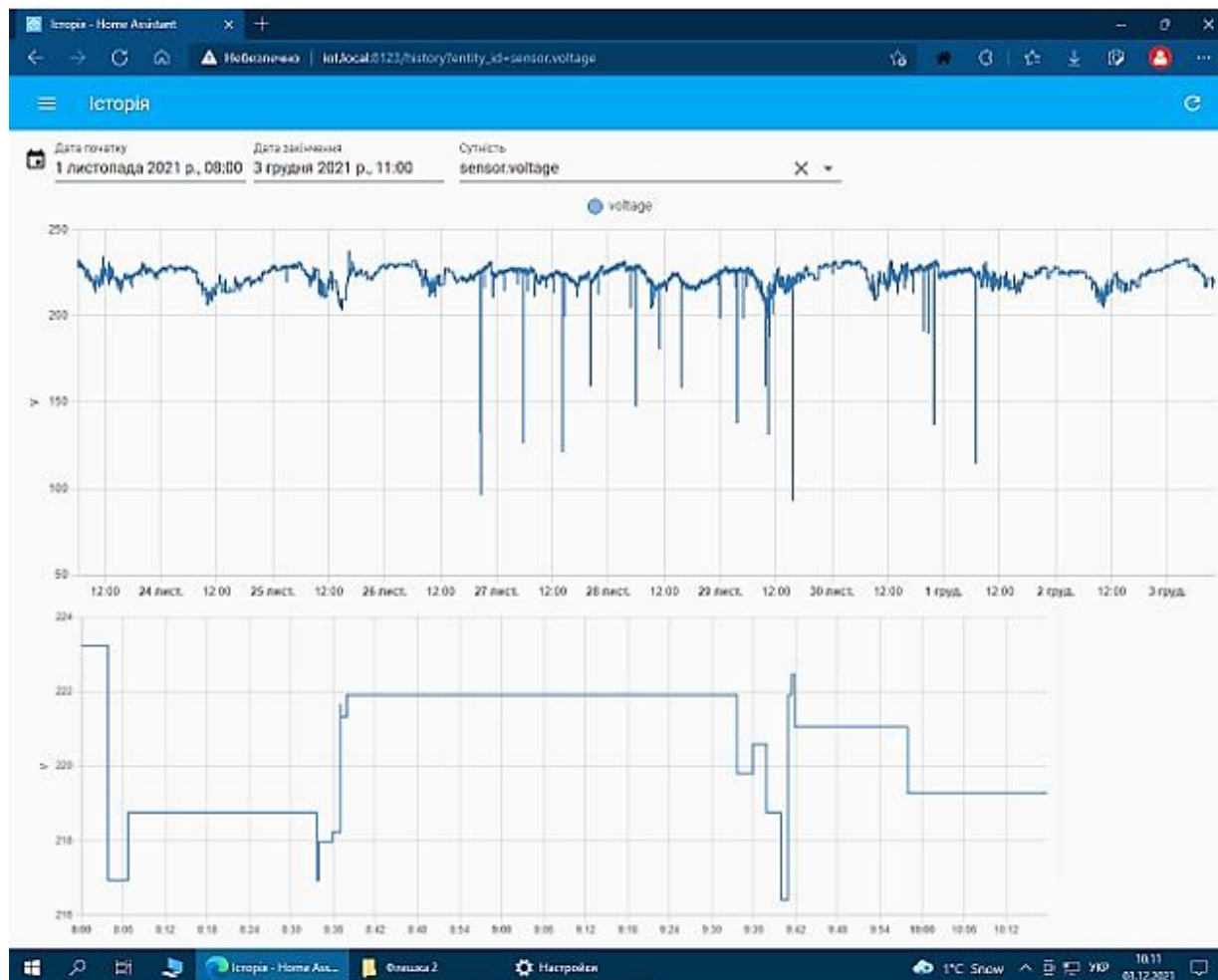


Рис. 5 - Графік історії напруги

Система аудіо-відеоспостереження підключається через розумну розетку Sonoff S26, якою можна керувати з будь-якої точки через локальну WiFi мережу. Відеоспостереження ведеться за допомогою відеокамери Vstarcam G43S і на комп'ютері, планшеті або смартфоні можна спостерігати за будівлею. Ведеться постійний запис, що дає можливість в будь-який час переглянути події, які відбувалися під час відсутності власника приміщення (рис. 6). Система відеоспостереження може знімати безперервно, або вмикатися лише за заданою

подією. А також при створенні ненормального режиму роботи, по кожній із зазначених тривожній функції, на смартфон подається сигнал та відправляється лист на електронну скриньку (Email), файл із записом на FTP сервер, що дає можливість дистанційно відключати газ або воду, електроенергію, тобто завчасно заподіяти аварійній ситуації.

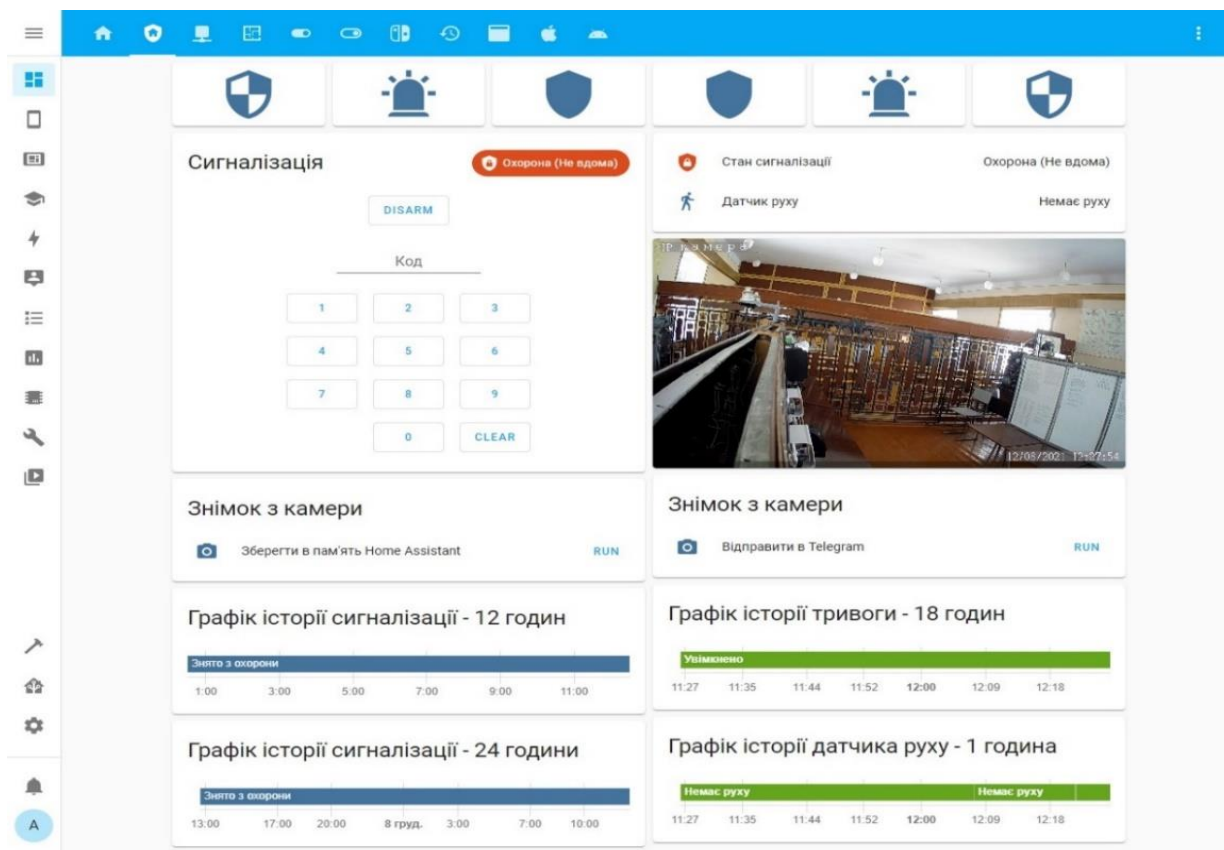


Рис. 6 – Графіки історій пристроїв

Іноді в жилих приміщеннях виникають екстрені випадки, такі як пожежа, затоплення, вибух газу, проникнення зловмисників, від яких не завжди можна застрахуватися. Але розроблена автоматизована система легко справляється з такими проблемами і завчасно може їх попередити, так як сучасні камери мають штучний інтелект, де паралельно з датчиками можуть виявляти пожежу, кількість автомобілів та номерні знаки автомобілів, а також розпізнати людину.

Пристрій зі штучним інтелектом працює таким чином, що коли людина переміщується в зоні спостереження, він надсилає повідомлення про тривогу в мобільний додаток у режимі реального часу, ефективно зменшуючи помилкові

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

тривоги, викликані порушеннями від інших об'єктів, таких як дрібні тварини та зміна освітлення, тощо, підвищення точності сигналізації.

В якості безпроводного приймально-передавального елемента використано мережевий маршрутизатор, що підтримує мережеву структуру з IP відеокамерою та забезпечує зв'язок через мережу Інтернет з Web-сервісом у хмарному сервері [240, с. 103].

Також система запрограмована, що відстежує появу звуку під час відсутності власників, при цьому на смартфон подається сигнал тривоги.

Відеокамера виконує функції панорами, нахилу, масштабування, тобто об'єктів з широким кутом огляду  $102^\circ$  (діагональ) у поєднанні з діапазоном повороту на  $350^\circ$  по горизонталі та  $60^\circ$  по вертикалі забезпечує захист будинку на  $360^\circ$ . Можна пересунути зображення на екрані смартфона, щоб повернути камеру або увімкнути автоматичний круїз, натиснувши «Горизонтальний круїз» або «Вертикальний круїз».

Для виявлення руху та нічне бачення в камеру вбудовано 6 шт. інфрачервоних світлодіодних ліхтарів, що забезпечує нічне бачення на відстані до 5-10 м.

Також використовується двостороннє аудіо, тобто вбудовано динамік і мікрофон, що, дозволяє дивитись, чути та спілкуватись з будь-ким, хто безпосередньо стоїть перед камерою домашньої безпеки Vstarcam, наприклад з домашніми тваринами, літніми людьми чи злодієм.

Зберігання інформації виконується на MicroSD-картку та хмарну службу, що підтримує максимальну пам'ять MicroSD, картку 256GB. Цикл відеозапису на карту MicroSD виконується автоматично. Хмара Vstarcam також доступна. Є можливість транслювати свої кадри в прямому ефірі або відтворювати відповідно до уподобань. Хронологія дозволяє знайти відео певного часу за декілька секунд (рис. 7).



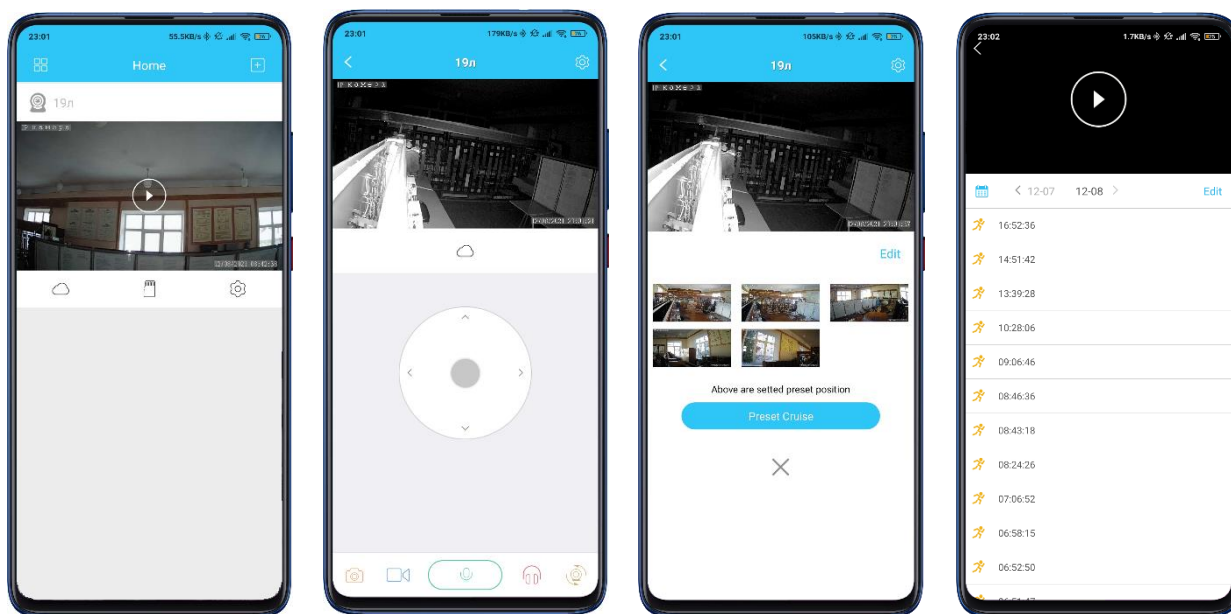


Рис. 7 – Додаток перегляду зображення з камери

Також використовується 9-канальний IP відеореєстратор (рис. 8), який підключається до мобільного додатку Xmeye (iOS, Android), а також до десктопних додатків CMS (Windows) VMS (Mac OS), що дозволяє вести спостереження в онлайн з усіх підключених до реєстратора камер, переглядати архів записів відеореєстратора, а також налаштовувати параметри запису, тривоги і тонких параметрів кожної камери. Все це можна виконувати як через інтерфейс самого реєстратора (підключивши до нього монітор), так і дистанційно з впровадженням вище зазначених програм. При цьому немає необхідності мати виділену IP адресу, так як зв'язок додатка з реєстратором відбувається за допомогою серійного номера пристрою і не має значення в якій інтернет-мережі він знаходиться.



Рис. 8 – Візуальне моделювання мережі



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Запис ведеться на спеціальний жорсткий диск, який призначений для відеоспостереження SATA 3,5 HDD об'ємом до 14Тб, що встановлюється всередину корпусу реєстратора, а також запис може виконуватися і в хмарний сервіс XMEYE по платній підписці. Резервне копіювання будь-якого часового відрізка запису виконується через інтерфейс USB на флеш накопичувач.

Хоча Smart технології одержали стрімкий розвиток, але до сьогоднішнього дня немає стандартного методу передачі інформації між інтелектуальним обладнанням і системою керування. Проаналізувавши відомі методи, враховуючи, що процеси, за допомогою яких проходить передача даних, не завжди захищені від кіберзлочинності, яка з кожним роком зростає та обґрунтувавши всі недоліки і переваги з'ясовано, що найперспективнішим методом є безпроводна сучасна Інтернет мережа через пристрої Інтернету речей. Це дозволяє перенести обчислення і взаємодію складових до хмарних центрів [241, с. 82], а також використати програмний захист від хакерських атак.

Керування всіма інтелектуальними пристроями, окрім саморобного реле, здійснюється за допомогою додатку eWeLink, який доступний для Android і iOS. Версію програми для iOS можна скачати в App Store, а для Android-версії - в Google Play. Синхронізується статус пристроїв в режимі реального часу, що надається з додатком Timing-Set таймери, тобто таймери зворотного відліку для ввімкнення та вимикання у зазначений час. А також підтримується голосове керування і спільна робота з сервісами Amazon Alexa, Google Home.

Для пристроїв на Android достатньо паралельно підключитися з Google Home, що дасть можливість інтегрувати пристрій в систему розумного будинку і керувати ним з програми Google Home, а також виконувати голосові команди.

Для пристроїв марки Apple шлях підключення трошки довший. Для цього потрібно змінити прошивку пристрою, після чого Apple HomeKit розпізнаватиме пристрій, що дасть можливість керувати ним прямо зі шторки повідомлень iPhone, а також керувати голосом за допомогою Siri.

Так як додаток eWeLink не задовольняє алгоритм функціонування системи тому додатково встановлено додаток Home Assistant, який працює тільки в

локальній мережі LAN, тобто на невеликій відстані від серверу, на якому встановлений Home Assistant або може працювати через Інтернет, тобто через хмару за допомогою сервісу динамічного Duck DNS.

Завдяки Інтернету речей керування і налаштування системи здійснюється з одного місця через Інтернет. Інтелектуальні пристрої взаємопов'язані між собою, а програма Home Assistant дозволяє контролювати і керувати ними за прописаною програмою, яку можна налаштувати за допомогою комп'ютера. Всі контрольовані показники можна відобразити на екрані комп'ютера (рис. 9).

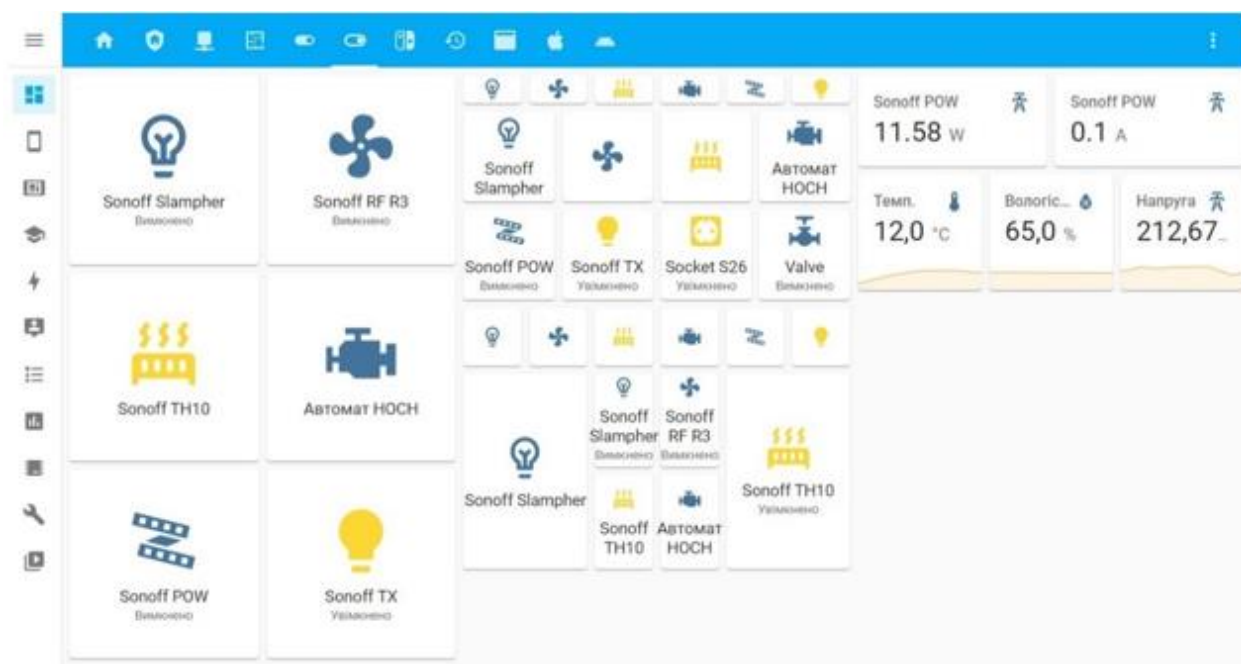


Рис. 9 – Панель керування електричними пристроями будівлі

У вигляді графіка можна кожену величину проаналізувати на протязі якогось часу або періоду (рис. 2). Для кожного «розумного» пристрою можна прописати індивідуальний сценарій, тобто задати програму ввімкнення і вимкнення, час роботи, декілька режимів роботи, потужність (рис. 10). Роботу кожного інтелектуального пристрою можна задавати за графіком або створювати керування згідно відповідного датчика.

Не залежно яку платформу використано (Google Home, Apple Homekit або Home Assistant) режим DIY дозволяє змінити прошивку, виконавши лише декілька простих дій. На відміну від попередніх моделей немає необхідності

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

апаратного підключення до пристрою, відповідно не потрібно купувати додаткове обладнання для програмування та не потрібно нічого паяти.

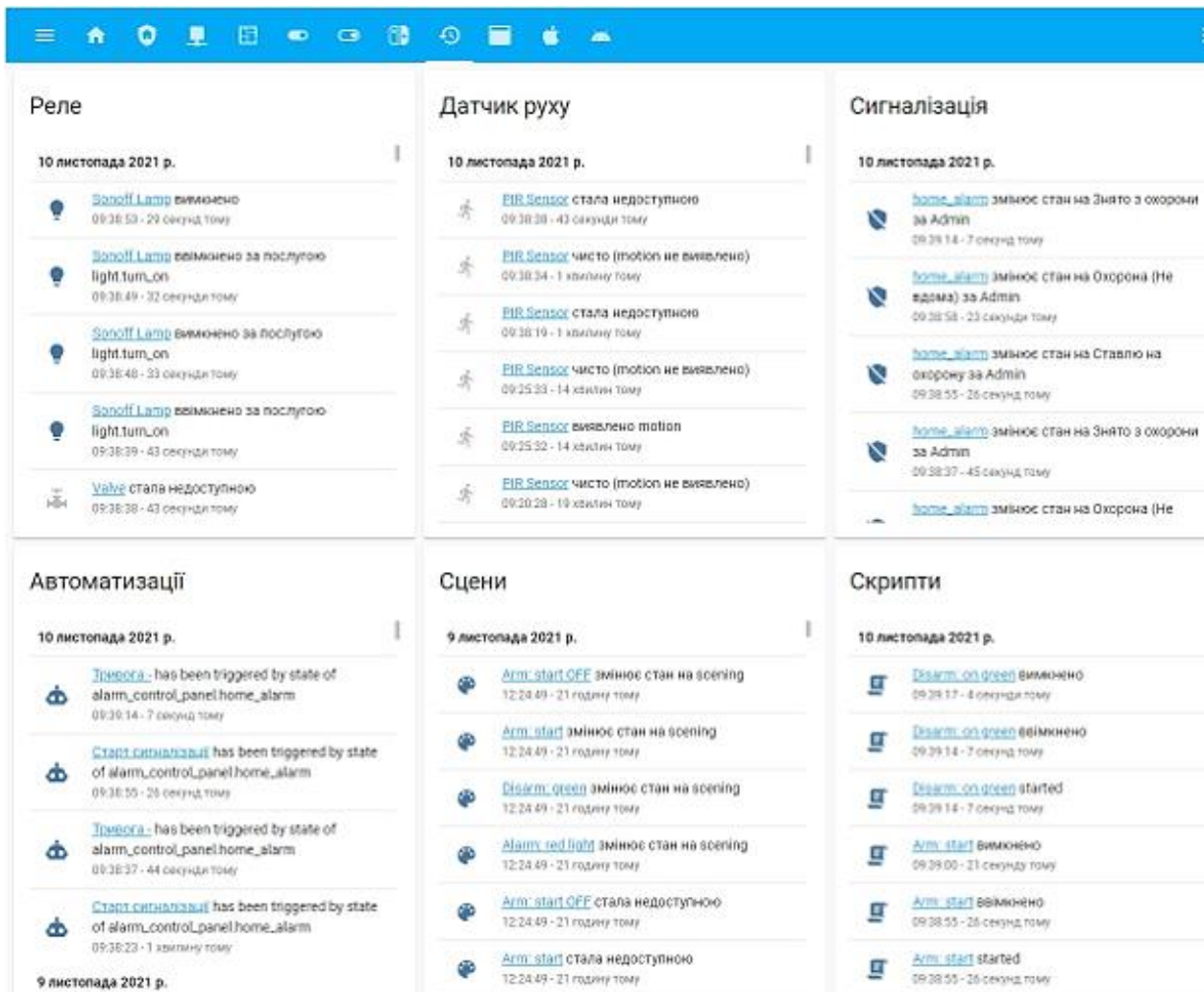


Рис. 10 - Налаштування сценаріїв для кожного пристрою

Сповіщення від системи, такі як сигналізація, дані датчиків, ввімкнення і вимкнення приладів та інші сповіщення даним способом можуть взагалі не приходити на смартфон. Наприклад, смартфон для збереження заряду або трафіку може заблокувати сам додаток від Home Assistant. Тому для користування популярним і надійним месенджером Telegram було розроблено Telegram БОТ на GitHub для керування автоматизованою системою. GitHub - це сайт/платформа, де розробники програмного забезпечення (програмісти) розміщують коди програм [242, с.18]. Сповіщення приходять практично

моментально і смартфон не блокує Telegram, оскільки система визначає месенджер Telegram як додаток для повідомлень.

Користуватись БОТом можна не тільки на смартфоні, але й на планшеті, ноутбучі та персональному комп'ютері, оскільки Telegram мультиплатформенний. На веб-сервісі GitHub студентом Ярославом Леськівим було створено власну сторінку, де розміщено код Telegram БОТа де можна його переглянути за посиланням: <https://github.com/yaroslav-leskiv/Telegram-BOT/blob/main/code.yaml>.

За допомогою цього бота можна керувати приладами, переглядати показники з датчиків, вмикати запрограмовані сцени, переглядати погоду, керувати сигналізацією, спостерігати дані системи та за потреби можна перезавантажувати на віддалі сервер (рис. 11). Тобто можна спростити завдання комунікації з користувачами, створивши їм розумного помічника. Боти розуміють текстові команди і можуть звертатися до АРІ веб-сайту, сервісу або бути самостійним продуктом з унікальними послугами.

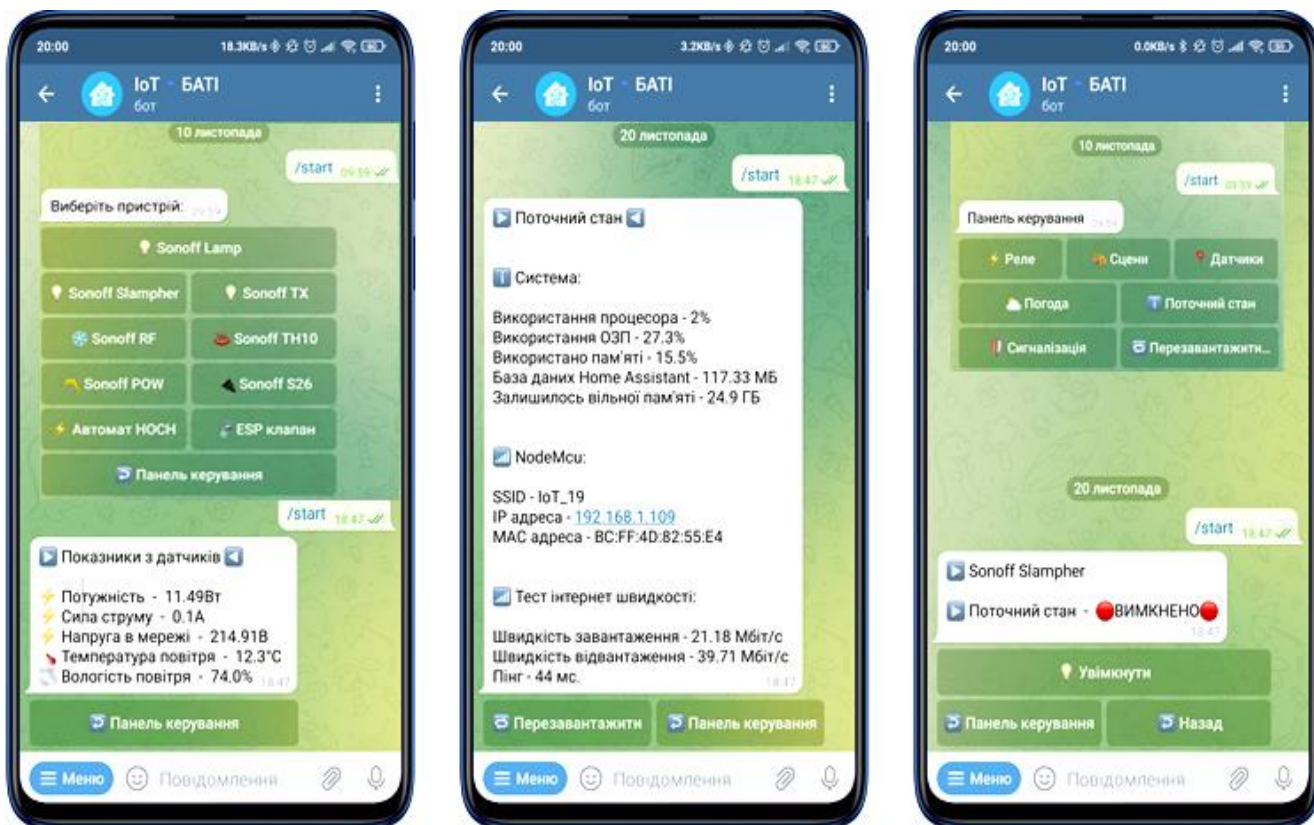


Рис. 11 – Виконання керування електричними пристроями через Telegram БОТа



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

П'ятивольтовий одноканальний модуль реле високого рівня (high level), вимагає 5-20мА для спрацьовування, тобто може керуватись безпосередньо з виводів мікроконтролера Arduino або йому подібних.

Розроблена та виготовлена автоматична система на відміну від інших систем, в тому числі і тих, що пропонують відомі фірми, є однією із пріоритетних. Пріоритет полягає в тому, що система вміє розпізнавати конкретні запрограмовані та надзвичайні ситуації, що відбуваються при виконанні технологічних процесів та реагувати на них відповідно до розробленої програми, тобто проводити відстежування режимів роботи, задавати параметри та керувати процесами відповідно до зовнішніх і внутрішніх умов [243, с.38].

Розроблена автоматизована система, реалізуючи концепції Smart технологій, надає можливість, окрім створення комфортності людей, вирішувати такі важливі задачі, як підвищення енергоефективності та енергозбереження. Ця система, на відміну від колишньої автоматизації, за допомогою датчиків, які є чутливими елементами, сприймає інформацію зміни навколишнього середовища і завдяки програмного забезпечення, яке відіграє роль інтелектуального агента, обґрунтовуючи цю інформацію з точки зору досягнення мети створення максимального комфорту і мінімальної витрати електроенергії, подає сигнали на відповідні виконавчі елементи для виконання тої чи іншої дії, а також одночасно здійснює контроль за всіма керованими параметрами. Підвищення енергоефективності створюється за рахунок виявлення та усунення нерациональної витрати електроенергії, тобто система налаштована таким чином, що електроенергія витрачається по потребі і тільки в тій кількості, яка необхідна.

Керування виконується на базі нечіткої логіки. До засобів керування відносяться: кнопочві пульти, смартфон або планшет, персональний комп'ютер, голосове керування, дистанційне керування через Web-сторінку або власний IP-канал.

Прилади можуть бути підключені до комп'ютерної мережі, що дозволяє керувати ними за допомогою персонального комп'ютера та надавати дистанційний доступ до них через Інтернет. Завдяки інтеграції інформаційних



технологій у домашні умови, всі системи та прилади узгоджують виконання функцій між собою, порівнюючи задані програми та зовнішні показники (обстановки).

Система «розумного будинку» включає три типи пристроїв:

- контролер (хаб) — керуючий пристрій, що з'єднує всі елементи системи один з одним і зв'язує її з зовнішнім світом;

- датчики (сенсори) — пристрої, які отримують інформацію про зовнішні умови;

- актуатори — виконавчі пристрої, безпосередньо виконують команди. Це найчисленніша група, в яку входять розумні (автоматичні) вимикачі, розумні (автоматичні) розетки, розумні (автоматичні) клапани для труб, сирени, клімат-контролери і так далі.

Сервер було розгорнуто на окремому комп'ютері, який може працювати автономно, без втручання людини, реагуючи на зовнішні події відповідно до встановленого програмного забезпечення. Використано операційну систему Windows Server 2019 (Desktop Experience) з графічним інтерфейсом від компанії Microsoft, яка є частиною сімейства Windows NT. Стандартна версія Windows Server 2019 запускається без графічного інтерфейсу, де сервер керується тільки з командного рядка за допомогою Power Shell, інструмента конфігурації сервера (SConfig) або віддаленими методами. Для дистанційного доступу до налаштувань серверу було встановлено програму TeamViewer. Для користування Home Assistant з персонального комп'ютера потрібно з веб-браузера перейти на локальне веб-посилання `iot.local:8123`.

Аналізуючи вимоги енергетичних показників, проблеми модернізації житлових будівель та умови контролю і моніторингу витрати електроенергії, одним із підходів, для підвищення продуктивності цієї системи при її розробленні, було задоволено прагнення досягнення мети забезпечення узгодженої роботи усіх споживачів електричної енергії та можливість впроваджувати набуті функції автоматизації, керування та моніторингу контролюючих показників для різного роду приміщень. Тобто забезпечити

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

реалізацію гнучкого налаштування та задавання сценаріїв керування не залежно від різних типів пристроїв. Для виконання цього завдання використано інтегровану систему керування, що взаємопов'язує усі інтелектуальні IoT пристрої в єдину систему, яка реагує на події, що відбуваються і постійно змінюються в навколишньому середовищі та швидко адаптується у режимі реального часу.

Основним завданням, яке реалізовано в системі керування, стояло питання досягнення мінімізації таких показників як [244, с.105 ]:

- вплив завад на вихідну змінну;
- відхилення між вихідною змінною і опорною змінною (задана величина);
- час реакції, коли виявлена помилка.

Крім того розроблена автоматизована система виконує наступні умови:

- гнучкість технології централізованого керування, тобто можна налаштовувати систему в залежності від потреби споживача, та в любий час переналаштовувати її;

- взаємодія між інтелектуальними пристроями і людьми через Інтернет речей;

- максимальне забезпечення інформацією;

- дистанційний збір, аналіз, обробка, передача та візуалізація інформації;

- децентралізація управлінських рішень, що полягає в повній автоматизації технологічних процесів.

При дослідженнях розробленої та виготовленої автоматизованої системи керування житловим будинком виявлено, що майже при всіх розроблених сценаріях можна заощаджувати електроенергію. Це характеризується тим, що система одержує велику кількість інформації про споживачів, так як кожний енергетичний пристрій з'єднаний з модулем, який представляє собою об'єкт IoT, що дистанційно збирає, обробляє і передає всю інформацію на централізований сервер, який після подальшої обробки реалізує відповідно у заданому руслі при



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

цьому обґрунтовуючи потреби своїх користувачів та вдосконалюючи ефективність системи.

А саме головне, що використовується бездротова WiFi мережа, що зменшує витрати на придбання дроту, його монтаж та ремонт. Створюється можливість керування інтелектом будинку та побутовими приладами через інтерфейс за допомогою телефонної лінії, мобільного зв'язку або Інтернет мережі. Тобто, можна робити якісь домашні справи через смартфон або веб-браузер, ще не діставшись самого будинку.

Розроблена та виготовлена система автоматичного керування об'єктами реалізує методи та сучасні інтелектуальні технології, що направлені на забезпечення енергоефективності та мінімального використання електроенергії. Розроблено програму, яка реалізуючи інформаційні технології та виконуючи з великою точністю різноманітні задачі взаємопов'язує між собою всі інтелектуальні пристрої.

Подібними системами можна обладнати житлові будинки, державні установи, об'єкти сільськогосподарського і промислового виробництва, тому вирішення даної проблеми є значимою і досить актуальною.

## **4.2 Scientific substantiation and development of rational modes of packaging paper flavoring**

The study of trends in innovative development and production of products of the pulp and paper industry of Ukraine is an urgent issue of our time, since in Ukraine there are more than 2.6 thousand enterprises with about 40 thousand employees, producing more than 300 items of marketable products supplied to domestic and foreign markets. And this allows Ukraine to provide the population with jobs and maintain a competitive position in the global paper market [245].

According to the conclusions of the target program for the development of the pulp and paper industry of Ukraine and the domestic market of cardboard and paper products [246], one of the promising areas for further development is: expansion of the raw material base to increase the range of products with new properties; improvement and modernization of production to obtain a new product, etc.

Improving the quality of decorative wrapping paper will increase consumer interest in this type of product. Consumer properties that primarily affect the choice and demand of customers are aesthetic characteristics that can be seen visually. A positive impact on human impressions is effectively carried out through the visual organ, in particular due to the brightness and visual appeal of wrapping paper. This is also confirmed by the psychology of color in marketing, advertising and trade [247]. At the same time, it is well known that smells can directly affect and change a person's mood. In this case, certain aromas can have a specific effect, causing relaxation, excitement or increased sensuality. In aromatherapy, it is known about the influence of a number of essential oils on the emotional state of a person. Smells can be stored for a long time in the emotional memory of a person and activate it. As noted by modern scientists [248,249], the share of smells accounts for up to 10% of the effect that is recorded in the subconscious of a person when he or she gets acquainted with a new place, product or item, which is a significant percentage, given the influence of other factors, such as color, sound, etc.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Based on the above, the actual direction of the industry development is the aromatization of packaging paper, which will expand the range of relevant products and increase consumer interest. Aromatization with essential oils is not only a pleasant smell, but also a healing effect. That is, in this case it is important to positively influence a person through the senses

The aim of the work is to improve the consumer properties of packaging paper; scientific substantiation and development of rational modes and methods of impregnation of packaging paper with aroma compositions of essential oils.

To achieve this goal and conduct experimental studies, decorative wrapping paper was chosen, which has a variety of designs, colors, and patterns, as well as different structures. Such paper is mainly used for wrapping gifts and flower compositions (made of flowers that have an unexpressed aroma).

The implementation of the proposed technology for the production of wrapping paper with additional consumer properties is carried out by aromatization. To achieve the desired result, the following was carried out as part of the experimental work:

1. Creation of aroma-composition of essential oils "Christmas tree", which will be used for aromatization of wrapping paper.
2. Production of aroma composition with 100% concentration, with 75% concentration and 50% concentration of essential oils.
3. Impregnation of cotton plates with dotted application of aroma composition: the first plate - 100% solution in the amount of 1 ml, the second plate - 75% solution - in the amount of 1.25 ml, the third plate - 50% solution - in the amount of 1.85 ml.
4. Putting cotton plates in the lower compartment of three sealed boxes made of polyethylene terephthalate (PET).
5. Checking the strength of the aroma that will be collected in three boxes depending on the concentration of the aroma composition.
6. Selection of the required concentration of the aroma composition.
7. Placing the paper in the upper compartment of the sealed PET boxes.
8. Studying the effect of aging time and concentrations of aroma compositions on the quality of the developed samples of scented paper.

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

9. Studying changes in the stability of the aroma of samples of scented decorative paper.

In order to develop and improve the consumer properties of wrapping paper, namely to check the influence of the material on the strength of the paper aroma and the influence of the material on the duration of the aroma in the paper, five samples of wrapping paper were used, which differ in composition:

1. scented regular paper;
2. flavored corrugated paper;
3. flavored combined paper - covered with laminated foil on one side;
4. flavored combined paper - covered with metallized foil on one side;
5. flavored combined paper - covered on one side with a polyethylene layer.

A preliminary organoleptic evaluation of the quality of essential oils used to create the aroma composition "Christmas Tree" was carried out, the results of which are shown in Table 1.

Table 1.

Organoleptic evaluation of essential oils quality

| Indicators | Requirements for products according to regulatory documentation                              | Essential oils                                     |     |        |         |                     |
|------------|--|--|-----|--------|---------|---------------------|
|            |  | Pine   | Fir | Spruce | Juniper | Cedar               |
| Appearance | Liquid, homogeneous, transparent (no undissolved substances) consistency                     | Meets the requirements of regulatory documentation |     |        |         |                     |
|            |  | liquid, homogeneous, transparent consistency       |     |        |         |                     |
| Color      | Intrinsic. The degree of intensity is characterized as colorless, weakly / intensely colored | Meets the requirements of regulatory documentation |     |        |         |                     |
|            |  | colorless  |     |        |         | light golden yellow |

Continuation of table 1

|       |  |   |   |   |  |   |
|-------|--|---|---|---|--|---|
| Taste | Peculiar to this product, without foreign flavors                                    | Meets the requirements of regulatory documentation  |   |   |  |   |
|       |  | pronounced without foreign aftertaste               | pronounced without foreign aftertaste                       | pronounced without foreign aftertaste             | Strongly pronounced without foreign aftertaste     | pronounced without foreign aftertaste   |
| Smell | Peculiar, without foreign odors. Characterized by: odorless, with a perceptible odor | Meets the requirements of regulatory documentation  |   |   |  |   |
|       |  | fresh forest, coniferous, with balsamic-woody smell | with a rich, persistent smell of fir, without foreign odors | a rich, fresh, resinous, typical coniferous smell | a characteristic rich, persistent smell of juniper | a persistent, rich balsamic cedar smell |

All presented samples of essential oils have a liquid homogeneous transparent consistency. They have no color, that is, they are colorless, except for cedar, which has a light golden yellow color, which is inherent in this product. All samples have a pronounced taste without foreign flavors, except for juniper, which has a pronounced taste inherent in this product. The smell of the oils, which is decisive for the subsequent aromatization of wrapping paper, has a characteristic smell of the presented samples and is saturated strong.

Thus, the presented essential oils in all respects meet the requirements of regulatory documents and are of high quality.

The quality assessment of cotton plates to be used for impregnation with aroma composition is given in Table 2.

Table 2.

Commodity characteristics of medical hygroscopic cotton wool indicators

| Indicators  | Norm according to the regulatory document | Results of the research |
|---|---|-------------------------|
| Contamination, %, not more than                     | 0,70                                      | 0,58                    |
| Content of foreign impurities: needles, chips, etc. | Not allowed                               | None                    |
| Ash content, %, not more than                       | 0,40                                      | 0,37                    |
| Humidity, %, not more than                          | 8,0                                       | 7,3                     |

Continuation of table 2

|  |             |         |
|--|-------------|---------|
| Absorption capacity, g, not less than              | 67          | 68      |
| Reaction of water extraction                       | Neutral     | Neutral |
| Degree of whiteness, %, not less (for non-sterile) | 66          | 68      |
| The smell  | Not allowed | None    |

As a result of the assessment of the quality of the cotton wool, the following was found out: the contamination, ash content and humidity of the cotton wool are within the normal range, there are no foreign impurities and odor, the absorption capacity and the degree of whiteness are higher than the standard, which is a positive indicator for this type of product, the reaction of the water extraction is neutral.

Consequently, medical hygroscopic hygienic cotton wool is of high quality and can be used for flavoring packaging paper.

The technical characteristics of the developed sealed PET box [250], which will be further used for the experiment, were carried out, the results are shown in Table 3.

Table 3.

Technical characteristics of the sealed PET box

| Indicators   | Characteristics  |
|--------------|--|
| Appearance   | A cylindrical box divided into two sectors - the lower one is small (a section for placing cotton wool impregnated with aroma composition), which is 1/15 of the height of the box and the upper one is large (a section for placing paper to be scented); the partition between the sectors is made of PET, which has holes placed evenly over the entire surface, 1 mm in diameter |
| Stiffness    | High, the product does not bend, firmly held on a horizontal surface   |
| Height, cm   | The whole box 110, the lower part 7  |
| Diameter, cm | 20   |

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The technical characteristics included: description of appearance, stiffness, color, height and diameter. The parameters of the box are taken into account the size of an average reel of paper.

To study the optimization of the formulation components, at the first stage, an aroma composition of essential oils "Christmas tree" was created, with the help of which the aromatization of wrapping paper was carried out. The aroma composition included: essential oil of pine, fir, spruce, cedar, juniper in equal amounts.

The next step was to prepare glycerin solutions of aroma compositions of different concentrations, namely: a solution with 100% concentration of essential oils, glycerin solution of aroma composition with 75% concentration of essential oils, glycerin solution of aroma composition with 50% concentration of essential oils.

After obtaining the aroma composition "Christmas tree" with the specified concentration of essential oils, the cotton wool plates were impregnated with a dotted application: the first plate - 100% solution in the amount of 1 ml, the second - 75% solution - in the amount of 1.25 ml, the third - 50% solution - in the amount of 1.85 ml and placed in the lower compartment of three sealed PET boxes.

The acquired aroma of wrapping paper was studied using the Guilford odor quality assessment scale in our own modification [251]. The developed scale for scoring the intensity of aromatization of packaging paper samples is shown in Table 4.

Table 4.

Scoring scale for assessing the intensity of aromatization of wrapping paper samples

| Number of points | Characteristics of the perceived odor                      |
|------------------|--|
| 0                | There is no smell  |
| 1                | The smell is barely perceptible                            |
| 2                | The smell is weakly expressed, but perceptible             |
| 3                | The smell is moderate, but not very intense                |
| 4                | The smell is moderate, well expressed, not fully saturated |
| 5                | The smell is moderate, well expressed, moderately pleasant |

|    |  |
|----|--|
| 6  | The smell is pronounced, very pleasant   |
| 7  | The smell is pronounced, very intense    |
| 8  | The smell is pronounced, but too intense |
| 9  | The smell is heavy, not very pleasant    |
| 10 | The smell is very heavy, unpleasant      |

The next step of the research was to check the strength of the aroma accumulated in the boxes depending on the concentration of the aroma composition. The results are shown in Table 5.

Table 5.

Aroma strength depending on the concentration of aroma composition

| Box with aroma composition           | Characteristics of aroma in a box with aroma composition              |
|--------------------------------------|---|
| 100% concentration of essential oils | The smell is pronounced, very intense (7 points)                      |
| 75% concentration of essential oils  | The smell is pronounced, very pleasant (6 points)                     |
| 50% concentration of essential oils  | The smell is moderate, well expressed, not fully saturated (4 points) |

The study of different concentrations of essential oils in the aroma composition "Christmas tree" was carried out in order to verify the feasibility of using the variant with 100% concentration for the aroma of packaging paper and the possibility of reducing the cost of this solution.

As a result of the study, it was found that the strength of the aroma of 100% and 75% concentration of the aroma composition is almost the same, and the strength of the aroma of 50% concentration did not give the desired result, as it had too weak a smell for further aromatization of wrapping paper.

Therefore, for further research, aroma compositions with a concentration of 100% and 75% were selected. The expediency of using these samples is determined taking into account the threshold of human sensitivity.

At the next stage of research, the dependence of the aging period and the



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

concentration of the aroma composition on the intensity of aromatization of wrapping paper in the upper compartment of a sealed PET box was checked. To do this, samples of wrapping paper were placed in the upper compartments of two sealed boxes with 100% and 75% concentration of aroma compositions for the same periods of time. The first test samples were taken out of the two boxes after 1 hour and checked the intensity of the aroma of the wrapping paper, which was flavored in boxes with different concentrations of aroma compositions. The following samples of paper were taken out of the two boxes at the following intervals: 3 hours, 6 hours, 12 hours, 24 hours, 36 hours, 48 hours and 72 hours. We noted the change in the intensity of the aroma and found out during what time the paper is completely aromatized and can be used. Based on the results obtained experimentally, we concluded that the aging time affects the aromatization of wrapping paper, but only up to a certain time. This time is the period during which the paper is completely aromatized and suitable for further use. Extending the aging time of the prototypes did not lead to an increase in aroma, further aging can be used for storage purposes.

Based on the study, it was found that the required period of exposure of wrapping paper in the upper compartment of a sealed box with 100% concentration of aroma composition for its complete aromatization was 24 hours, and in a sealed box with 75% concentration of aroma composition - 48 hours.

It was found that the material from which the wrapping paper is made also affects the degree of aroma of already flavored paper, but it is not advisable to increase the period of keeping the paper in the upper compartment of the sealed box, because the strength of aromatization depends on the composition of the paper, and not on the period of keeping the paper. It was determined that samples of plain paper and corrugated paper are characterized by the highest absorption capacity for aroma compared to other samples.

Subsequently, a study of changes in the stability of the aroma of samples of flavored wrapping paper was carried out. To test the stability of the aroma, the samples were stored for up to 48 hours indoors at a temperature of 18...20°C and relative humidity of 70...75%.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The paper samples were examined at the following intervals: 6 h, 12 h, 24 h, 36 h and 48 h. The time range was chosen taking into account the possible time interval between packaging and delivery of the product to the consumer. We note the change in the strength of the aroma at appropriate intervals. It was found that the samples of paper, which were kept in the upper compartment of the sealed box with 100% concentration of the aroma composition, retain a strong aroma up to 36 hours and only after this period they begin to lose the intensity of the aroma, but the smell remains up to 48 hours, but it is not intense enough. Paper samples treated with 75% concentration of the aroma composition retain a strong aroma up to 24 hours, and after this period begin to lose the aroma, but it does not disappear completely until 48 hours, but has a lower intensity than paper samples that were kept in an environment with 100% concentration of the aroma composition.

According to the results of the study, it was proved that the material from which the wrapping paper is made also affects the durability of the aroma. It was found that flavored plain paper and flavored corrugated paper retained the aroma for the longest time.

During the aging of these types of paper in 100% and 75% concentration of the aroma composition, their aroma remained intensely strong up to 36 hours. The pronounced aromatization of the paper remained up to 48 hours when using both concentrations, but had a slightly different intensity.

The obtained research results indicate that the treatment of wrapping paper by keeping it in a box with aroma composition allows to obtain flavored paper that does not lose its properties when used for 48 hours.

It was found that the rational period of keeping the wrapping paper in the upper compartment of a sealed box with 100% concentration of aroma composition for its full aromatization is 24 hours, and in a sealed box with 75% concentration of aroma composition - 48 hours.

The effect of dilution of the aroma composition from 100% to 75% concentration does not significantly affect the degree of aromatization of the paper, which makes it possible to reduce the price of this development when using 75% concentration of the

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

aroma composition.

It was determined that the material from which the wrapping paper is made affects the intensity of the aroma in the flavored paper: the most pronounced aroma was in plain paper and corrugated paper, and the intensity of the aroma in paper with a combined composition (covered with another material on one or both sides) is somewhat lower. This is due to the higher porosity and more pronounced sorption properties of plain and corrugated paper.

Thus, a method of aromatization of packaging paper has been scientifically substantiated and developed, which contributes to improving the quality, aesthetic expressiveness and satisfaction of consumer demand.

### 4.3 Numerical modeling of a rotary-pulsation apparatus with rectangular holes (3D model)

The following section presents the results of numerical simulation in the working chamber RPA with rectangular holes using a 3D model.

#### Development of 3D geometry of the rotor-pulsation apparatus

In fig. 1 schematically shows a rotary-pulsation apparatus (RPA) for feed preparation. The boot apparatus is made in SOLID WORKS, then loaded into ANSYS Design Modeler. The FILL component is selected to simulate the mixture. Boundary conditions were set and the project was transferred to ANSYS Meshing.

Figure 2 shows the boundary conditions of RPA. At the inlet limit of the inlet, a mixture with a mass flow rate of 0.92 kg/s with a temperature of +20 °C is loaded. The output limit of the outlet is set by pressure (pressure outlet). RPA case is made of aluminum. The temperature of +20 °C is set on the surface of the metal case. The volume of RPA stator is  $2,181 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  (Fig. 1). The volume of RPA rotor is  $3,798 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ . The rotor, on the z axis, rotates at a speed of 3000 rpm. Numerical simulations were performed three times with a constant dynamic viscosity 0,2; 1,1 and 2,1 Pa·s.

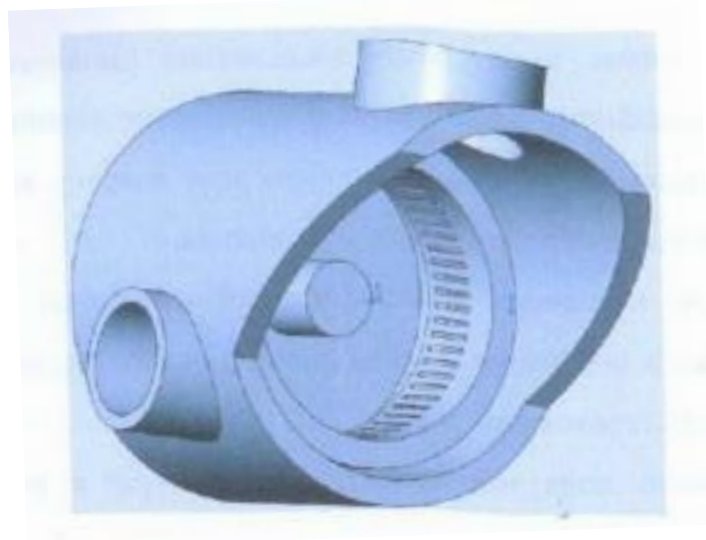


Fig. 1 General view of the rotor-stator system in RPA

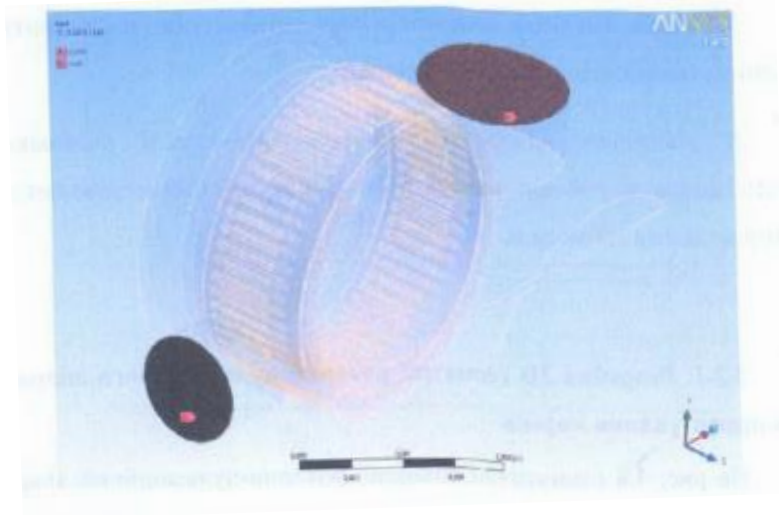


Fig. 2 Boundary conditions in RPA channels

For numerical modeling, a mixture of water and grain in the ratio 10x1 was introduced. The thermophysical properties of water, which varies with temperature, are taken from the relevant tables. The thermophysical properties of grain are considered independent of temperature and equal to: density – 770 kg/m<sup>3</sup>; the thermal conductivity coefficient – 0,11 W/m·°C; heat capacity – 1550 kJ/kg·°C.

The mixture of water/grain (Y) for all required thermophysical quantities is calculated according by the following formula

$$Y = \frac{10x_1 + 1x_2}{x_1 + x_2}, \quad (1)$$

where x is the thermophysical value; 1 – the value of water; 2 – the value of grain. The thermophysical properties of a liquid grain mixture depend on the temperature.

### **Using the finite element method to build a 3D grid in ANSYS Meshing**

Currently, Finite Elements Method FEM has found wide application in solving problems of thermal conductivity in solids and in the calculation of materials for strength. In addition, this method is used to calculate the flow of liquids or gases [252]. There are also methods Numerical that combine elements of the finite volume method and the finite element method [253, 254]. The combination of these methods allows the use of a wider range of computational grids (pyramidal, tetragonal, prismatic, polyhedral), which is necessary when solving problems with complex geometry. This

approach is used by CFD packages Ansys CFX, Ansys Fluent, Star-CD, Star-CCM+, Comsol, etc.

The grid was built out in the ANSYS Meshing generator based on the Workbench platform. In the table 1 shows the setting parameters and grid results in ANSYS Meshing for further transfer of the calculation of heat and mass transfer and hydrodynamics in Ansys Fluent. The geometry is built in real size. The number of elements and faces is quite large (table 1). Due to the large size of RPA, the size of the element and the face is not increased much due to limited production and design power of the computer.

Table 1. Grid construction parameters for RPA

| Parameter                                   | Value             |
|---|-------------------|
| Grid quality indicator (orthogonal quality) | 0,161             |
| Number of elements, pcs.                    | 4485359           |
| Number of nodes, pcs.                       | 4791394           |
| Curvature angle, city                       | 45                |
| Method                                      | Cut-Cell          |
| Maximum size, m                             | $1 \cdot 10^{-3}$ |
| Minimum size, m                             | $5 \cdot 10^{-4}$ |

In Fig. 3-5 shows the constructed RPA grid. The maximum grid size for the entire volume does not exceed  $1 \cdot 10^{-3}$  m. These measures are used to improve the calculation of hydrodynamics. In the section YZ and YX (Fig. 4), the thickening of the grid in the grooves of the rotor and stator is clearly visible. The size of the thickening of the grid near the grooves is  $5 \cdot 10^{-4}$  m (Fig. 5). Thanks to which you can better assess the quality and shortcomings of the grid itself. The number of grid elements is about 4,5 million. The quality of the grid in orthogonal quality is 0,161. Detailed results are given in table 1.

Using the finite element method, a 3D calculation grid in ANSYS Meshing software package for solving hydrodynamics and heat transfer problems in RPA was constructed. As a result of building various grids for CFD models, the most optimal and high-quality one was chosen, which allows to obtain reliable and most accurate results of heat and mass transfer processes in RPA.

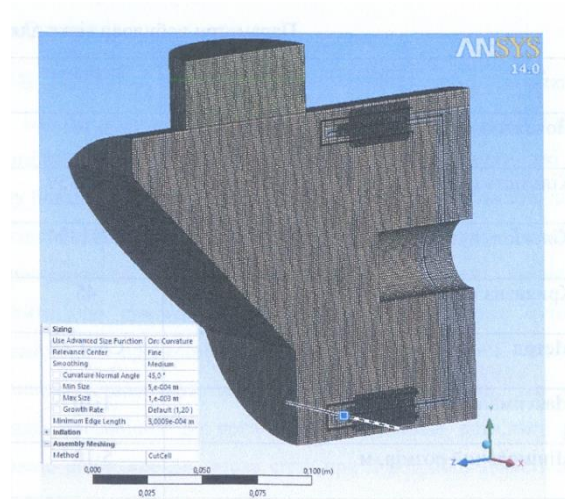


Fig. 3 The result of the constructed grid in the longitudinal section YZ

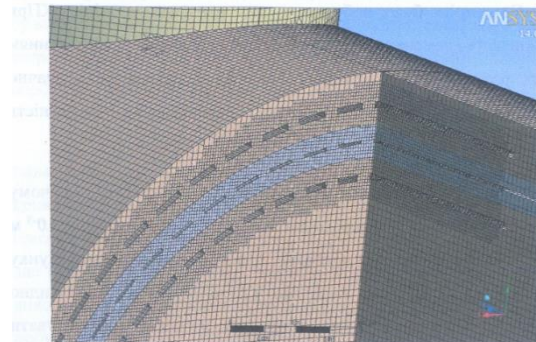


Fig. 4 The result of the constructed grid in the section of YZ and YX

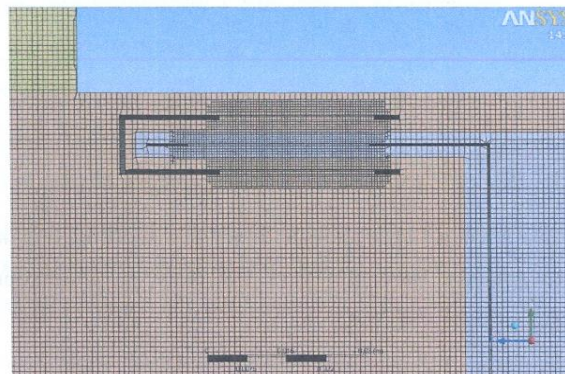


Fig. 5 The result of the constructed grid between the grooves in the longitudinal section YZ

### **Mathematical modeling of heat and mass transfer processes in RPA**

The motion of a viscous liquid or gas is described by a system of equations, which includes the equation of continuity equation and the equation of conservation of momentum in projections on the coordinate zone. If the motion of the medium is

accompanied by heat transfer, the equation of energy conservation is added to the system of these equations.

The mathematical model is based on the Navier-Stokes equation [255] and the energy transfer equation for convective flow. The standard k-ε turbulence model [256] was used in the calculations. The initial equations are given below.

Navier-Stokes equations:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \\ \rho \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}, \\ \rho \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

where  $\rho$  – the density of the medium, kg/m<sup>3</sup>;  $\mu$  – the coefficient of dynamic viscosity of the medium, Pa·s;  $p$  – pressure, Pa;  $u, v, w$  – vector field of velocities;  $t$  – a moment of time, s.

The equation of inseparability:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial(u\rho)}{\partial x} + \frac{\partial(v\rho)}{\partial y} + \frac{\partial(w\rho)}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Energy conservation equation:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \lambda \frac{\partial T}{\partial z} + Q(\tau, x, y, z) \quad (4)$$

where  $T$  – the temperature at some point, K;  $\lambda$  – the thermal conductivity coefficient of the medium, W/m·K;  $C_p$  – specific heat capacity of the medium, J/kg·K.

#### *Turbulence model*

For the flow of coolants in the channels it is necessary to choose a model of turbulence that most corresponds to the conditions of hydrodynamic flow in these channels. One of the most common is the standard k-ε model used in Ansys Fluent software package, used in practical engineering calculations of flows in channels and was proposed by Launder and Spalding [256]. The reliability, economy and accuracy



of this model for a wide range of turbulent flows explain its wide application for modeling heat transfer in channels of various configurations.

The standard k-ε model [256] is based on the model of the turbulence transfer equation of kinetic energy (k) and its dissipation rate (ε). The equation of the transport model for k is from the exact equation, and the equation of the transport model for ε is obtained for physical reasons.

In deriving the k-ε model, the flow is assumed to be completely turbulent that and the effects of molecular viscosity are negligible, i.e. the standard k-ε model is used for fully turbulent flows.

Subsequently, the standard k-ε model was improved, which increased its efficiency. There are two improved versions of this model, which are available in the software package Ansys Fluent, namely, RNG k-ε model [257] and implemented (realizable) k-ε model [258].

*The transfer equation of the standard k-ε model*

The kinetic energy of turbulence k and its dissipation rate ε is found from the solution of the following transport equations [259-261], which are given below:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + G_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) - G_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (6)$$

where  $G_k$  – the generation of kinetic energy turbulence due to velocity gradients (see equation (12));  $G_b$  – the generation of kinetic energy turbulence (see equation (16));  $Y_M$  – the contribution to the expansion of the compressibility fluctuations of turbulent flows in the total dissipation rate (see equation (18));  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$  and  $C_{3\varepsilon}$  – experimental constants;  $\sigma_k$  and  $\sigma_\varepsilon$  – are Prandtl turbulent numbers for k and ε, respectively. The values of  $S_k$ ,  $S_\varepsilon$  are defined as characteristics of the kinetic energy and the dissipation of this energy:

$$S_k = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon - \mu \frac{g_i \partial \rho}{\sigma_A \rho \partial x_i}, \quad (7)$$

$$S_\varepsilon = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} f_1 \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu C_A \frac{g_i \partial \rho}{\sigma_A \rho \partial x_i} - C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k}. \quad (8)$$

where  $C_{\varepsilon 1} = 1,44$ ,  $C_{\varepsilon 2} = 1,92$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1,3$ ,  $\sigma_k = 1$  – empirical coefficients [261];  $f_1$ ,  $f_2$  – are variables that depend on the coefficients of dynamic and turbulent viscosity and are determined by the following formulas:

$$f_1 = 1 + \frac{0,05^3}{f_\mu}, \quad f_2 = 1 - e^{-R_f^2}. \quad (9)$$

The values of constants and parameters in this model were determined from experiments for fundamental turbulent flows, including shear flows, boundary layers, mixed layers, as well as for the decomposition of an isotropic turbulence grid. They have proven to be quite effective for a wide range of wall-bound landslides.

#### *Modeling of turbulent viscosity*

The turbulent (or vortex) viscosity  $\mu_t$  calculated through  $k$  and  $\varepsilon$  as follows:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (10)$$

where  $C_\mu$  – constant.

The degree to which  $\varepsilon$  depends on buoyancy is determined by the constant  $C_{3e}$ . In Ansys Fluent, the value of  $C_{3e}$  is calculated by the following ratio:

$$C_{3e} = \tanh \left| \frac{v}{u} \right| \quad (11)$$

where  $v$  – the component of the flow velocity that is parallel to the gravitational vector;  $u$  – the component of the flow velocity perpendicular to the gravitational vector. Thus,  $C_{3e}$  will be equal to 1,0 for floating shear layers, for which the main flow direction is combined with the direction of gravity. For floating shear layers that are perpendicular to the gravitational vector,  $C_{3e}$  becomes zero.

#### *Modeling of turbulent processes in the k-ε model*

The parameter  $G_k$ , is a process of kinetic energy of turbulence, which is modeled equally for standard, RNG and realizable k-ε models and is defined as:

$$G_k = -\rho u_i u_j \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (12)$$

To estimate  $G_k$  according to Bussinec's hypothesis:

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (13)$$

where  $S$  – the modulus of the average rate of change of the strain tensor, defined as:

$$S = \sqrt{2S_j S_{ij}} \quad (14)$$

*Effects of buoyancy on turbulence in the k-ε model*

Generation of turbulence due to buoyancy is determined by:

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (15)$$

where  $Pr$  – the turbulent Prandtl number for the energy;  $g_i$  – the component of the gravitational vector in the  $i$ -th direction. For standard k-ε models, its value is  $Pr = 0,85$ .

The coefficient of thermal expansion  $\beta$  is defined as:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} \quad (16)$$

For ideal gases, the ratio (15) is as follows:

$$G_b = -g_i \frac{\mu_t}{\rho Pr_t} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (17)$$

As can be seen from the transfer equations for the parameter  $k$  (see equation (5)), the turbulence of the kinetic energy is usually increased ( $G_b > 0$ ) under the conditions of unstable flow stratification. For stable stratification we have a reduction of this turbulence ( $G_b < 0$ ). In the Ansys Fluent package, the effects of buoyancy on the generation of  $k$  are always taken into account if there is a non-zero gravitational field and a non-zero temperature gradient.

To account for these effects in the k-ε turbulence model in Ansys Fluent package, we use scattering parameter of the extension  $Y_M$ , which is included in  $k$  equation (6). This parameter is modeled according to Sarkar's proposal:

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \quad (18)$$

where  $M_t$  – the turbulent Mach number, which is defined by the expression:

$$M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}} \quad (19)$$

where  $a = \sqrt{\gamma RT}$  – the speed of sound.

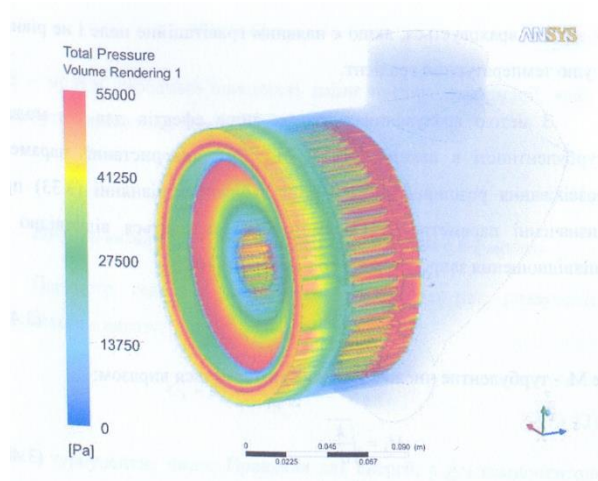
### **The results of numerical modeling of transfer processes in RPA**

As a result of numerical calculations in Ansys Fluent application package, all dynamic and thermal characteristics of the liquid mixture during its passage through the rotor-stator system were obtained. The results of the calculations are presented in Fig. 6-8.

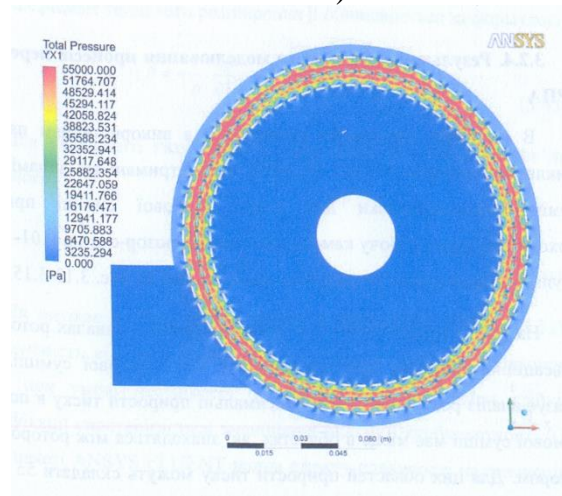
In Fig. 6 shows the pressure distribution in the channels of the rotary-pulsation apparatus during the flow of the mixture. As shown by the analysis of the pressure distribution, the maximum pressure increase in the flow of the mixture is observed in the zones between the rotor and the stator. In these zones, the pressure increase may be 55 kPa compared to the pressure at the inlet to the channel. This indicates a significant effect of the viscosity of the mixture on the change in pressure in the rotor-stator channels, which is accompanied by the conversion of the kinetic energy of rotation of the rotor into the thermal energy of the mixture.

In Fig. 7 shows the velocity distribution in the channels of the working zone in rotor-stator system. The maximum values of flow rate of the mixture are observed in the channels between the rotor and the stator, where these values can exceed 7 m/s. When the liquid leaves the rotor-stator channel the flow vortices zones are formed, which turbulizes the flow in the channels and leads to intensive mixing of the mixture. The result is a homogeneous mixture.

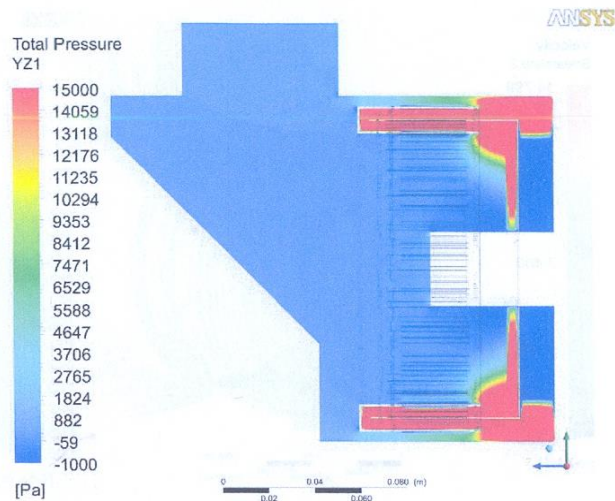
# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



a)



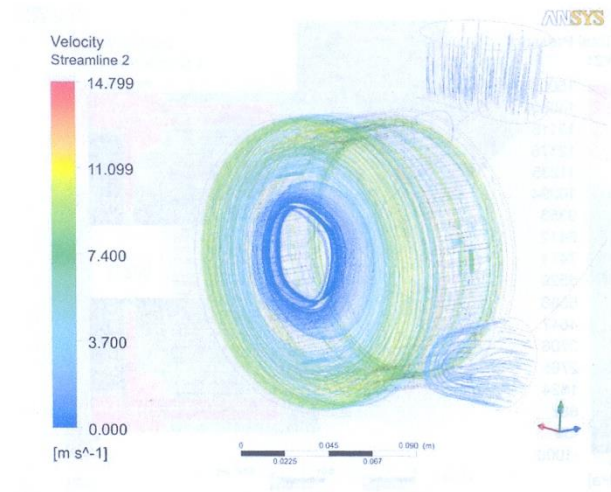
b)



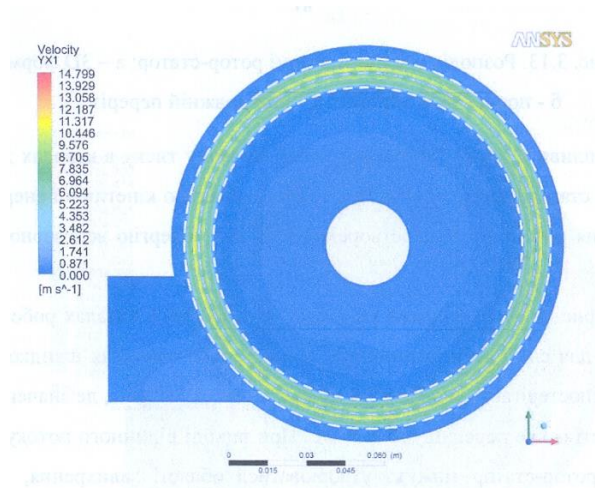
c)

Fig. 6 Pressure distribution in the rotor-stator system: a – 3D format; b – cross section; c – longitudinal section.

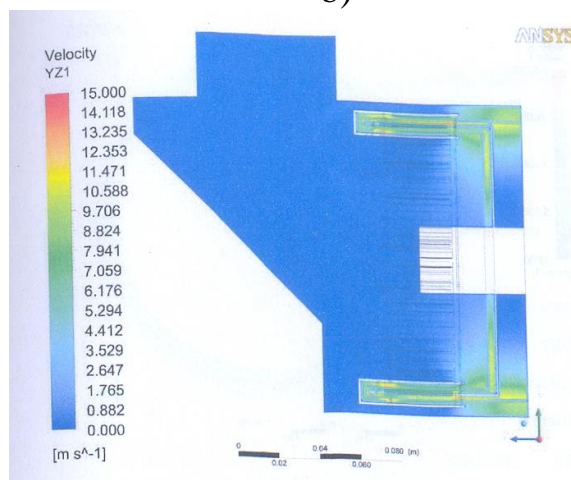
# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



a)



b)

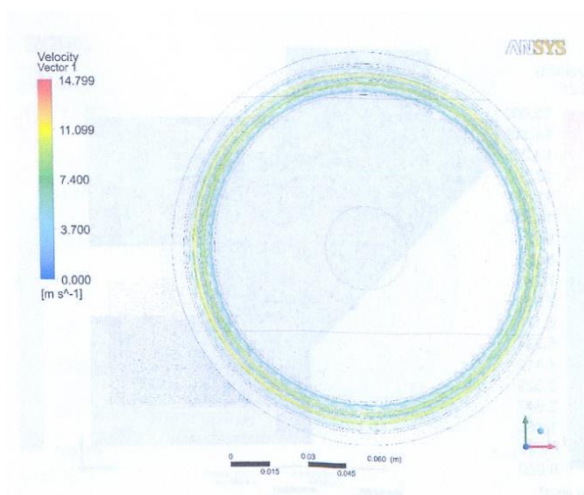


c)

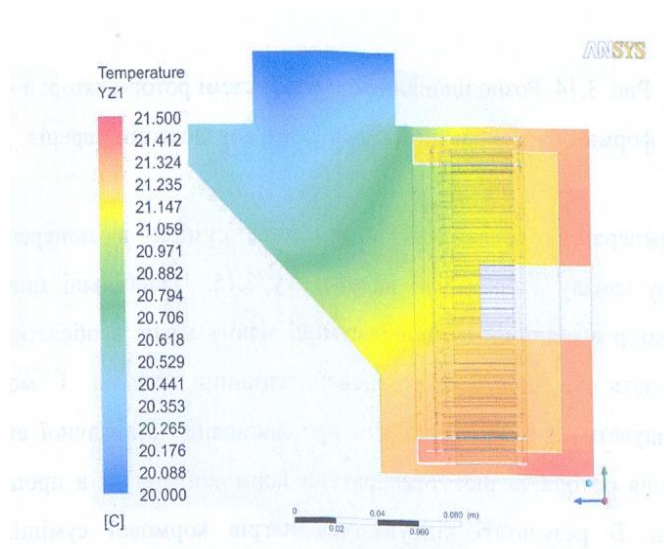
Fig. 7 Velocity distribution in the rotor-stator system: a – 3D format; b – cross section; c – longitudinal section.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Temperature distributions in the liquid mixture in the cross section of the channel are shown in Fig. 8. The highest values of temperatures in the liquid mixture take place in the zones adjacent to the surface of the end plane of the rotor and can exceed 21 °C. This indicates a dissipation of the kinetic energy of rotation of the rotor and an increase in the temperature of the mixture during its processing. As a result, the mixture is heated, which is especially important in the winter period of the year and allows you not to heat the mixture during this period.



a)



b)

Fig. 8 Temperature distribution in the mixture for longitudinal (a) and cross (b) sections in the rotor-stator system

### **Conclusions**

1. As a result of numerical calculations in Ansys Fluent application package, all dynamic and thermal characteristics of the liquid mixture during its passage through the rotor-stator system were obtained.

2. The maximum pressure increase in the flow of the mixture is observed in the zones between the rotor and the stator. In these zones, the pressure increase may be 55 kPa compared to the pressure at the inlet to the channel.

3. The maximum values of flow rate of the mixture are observed in the channels between the rotor and the stator, where these values can exceed 7 m/s. When the liquid leaves the rotor-stator channel the flow vortices zones are formed, which turbulizes the flow in the channels and leads to intensive mixing of the mixture. The result is a homogeneous mixture.

4. The highest values of temperatures in the liquid mixture take place in the zones adjacent to the surface of the end plane of the rotor and can exceed 21 °C. This indicates a dissipation of the kinetic energy of rotation of the rotor and an increase in the temperature of the mixture during its processing.

5. As a result of numerical simulation, the fields of pressures, velocities and temperatures in the liquid mixture were obtained, which made it possible to choose the design of the rotor-pulsation apparatus, which will be used to develop an experimental sample of such device.



#### **4.4 Огляд праць з розробки та використання ручного лазерного інструмента**

Останні десятиліття ХХ століття для світового зварювального виробництва характеризувалися інтенсивним розвитком і розширенням областей застосування променевих джерел енергії (у першу чергу лазера) для зварювання й обробки конструкційних матеріалів. Висока густина енергії лазерного випромінювання, широкий діапазон її регулювання, можливість передачі енергії на значну відстань від джерела випромінювання забезпечують лазеру високу ефективність й універсальність.

Області застосування лазера найрізноманітніші – від автомобільної індустрії до мікроелектроніки. Лазер як технологічний інструмент ідеально відповідає розвитку автоматизації й збільшенню гнучкості сучасного виробництва. Широке використання променевих технологій, та оптимістичний прогноз для подальшого зростання відсотку їх застосування, підтверджують данні різних джерел.

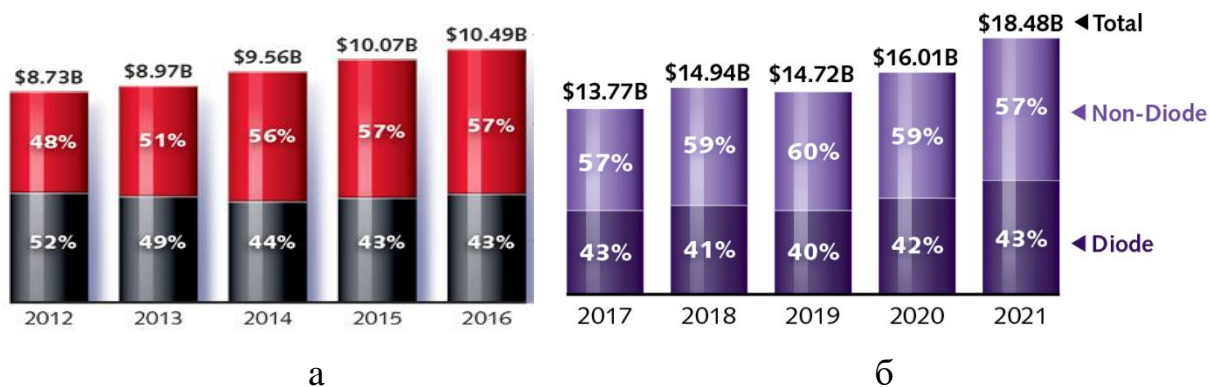
В даний час у промисловому виробництві домінують волоконні лазери, газові безперервні CO<sub>2</sub>-лазери й твердотільні Nd:YAG (неодим-ітриєві) лазери з ламповим накачуванням. Значно розширюється використання поки ще дорогих, але перспективних Nd:YAG - лазерів з діодним накачуванням, а також потужних діодних лазерів у сполученні з оптоволоконними світловодами [262].

На застосуванні лазерних джерел енергії засновані ефективні технології різання, «свердління» отворів, зварювання, наплавлення, поверхневого легування, термічної обробки й виправлення, нагрівання під формоутворення, гравірування й ін. Одне джерело лазерного випромінювання з оптоволоконним світловодом може забезпечувати послідовне виконання ряду технологічних операцій, наприклад різання, зварювання, термообробки звареного з'єднання й ін.

Як показали маркетингові дослідження фірми «Optechconsulting» [263], високу ефективність лазерних технологій і зростаючі масштаби їхнього

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

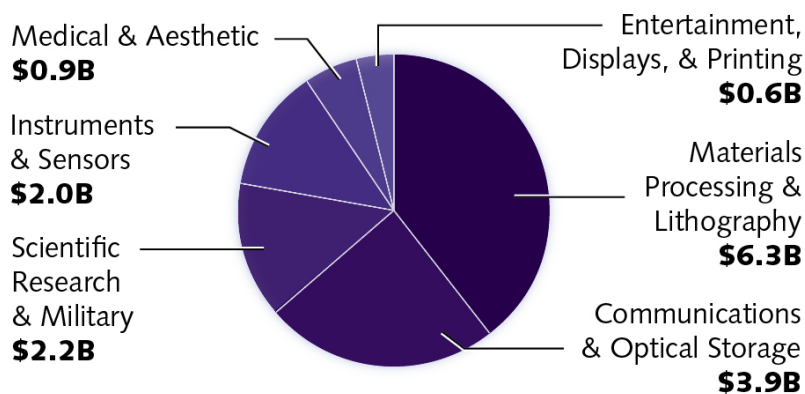
промислового застосування переконливо підтверджує збільшення щорічних продажів лазерних систем і джерел для обробки матеріалів. На мал. 1 представлені дані авторитетного видання «Laser Focus World» [264, 265], що показують зміну ринку лазерів за останні роки.



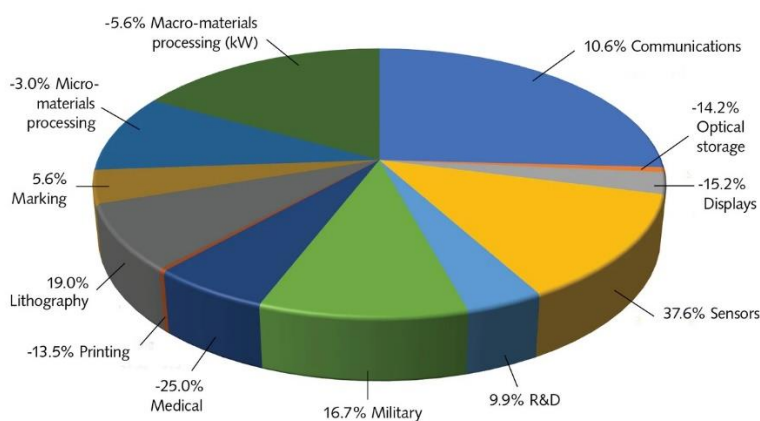
Малюнок 1. Ринок лазерів в 2012 – 2016 рр. (а) [264] і в 2017 – 2021 рр. (б) [265].

Ринок самих лише лазерів, без урахування технологічних та допоміжних систем, маніпуляторів, обладнання тощо, виріс майже вдвічі, і зростав практично весь час (крім 2019 року) постійно і неухильно, незважаючи на наслідки глобальних торгових конфліктів, слабких ділових інвестицій та Коронавірус-2019, які безумовно чинять тиск на світову економіку та підвищують ризик довгострокової стагнації. Що дозволило виробникам лазерів заробити близько 16 мільярдів доларів США у 2020 році (мал. 1, б). Діаграма розподілу продажів лазерів по найбільш затребуваним галузям економіки представлена на мал 2, а [265]. На мал. 2, б [266] наведена діаграма, що показує відсоткове співвідношення розподілу продажів лазерів у 2020 році. Знак «мінус» у різних галузях застосування вказує на спад продажів щодо результатів 2019 року.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



a



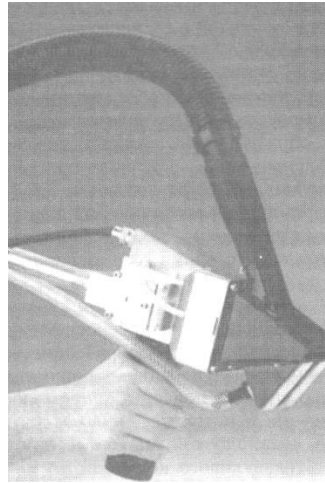
б

Малюнок 2. Діаграми розподілу продажів лазерів по галузям економіки в 2020 році у млрд. дол. США (а) [265] і у відсотках (б) [266].

Останнім часом з'явилося багато публікацій, в яких наведені приклади створення лазерних комплексів та ручного лазерного інструменту. Задачі, які можуть вирішуватися силами такого комплексу відносяться до відновлення деталей транспорту та обладнання, зварювання виробів з тонких сталевих листів. Часто у цих комплексах використовують потужні діодні лазери, оскільки їх ККД становить до 48 – 52 %. Відмітимо, що для підвищення гнучкості транспортування випромінювання його доцільно передавати по оптичному волокну. Такий технічний прийом можна застосувати для Nd:YAG-лазера (довжина хвилі випромінювання  $\lambda=1,06$  мкм). Для підвищення терміну експлуатації Nd:YAG-лазера його накачку здійснюють не лампами, а діодами.

Перша публікація про мобільну лазерну установку з ручним робочим інструментом з'явилася в 1996р. [267]. Фраунхоферівський інститут лазерної

техніки (м. Аахен, Німеччина) розробив мобільну лазерну установку «Clean» (мал. 3).



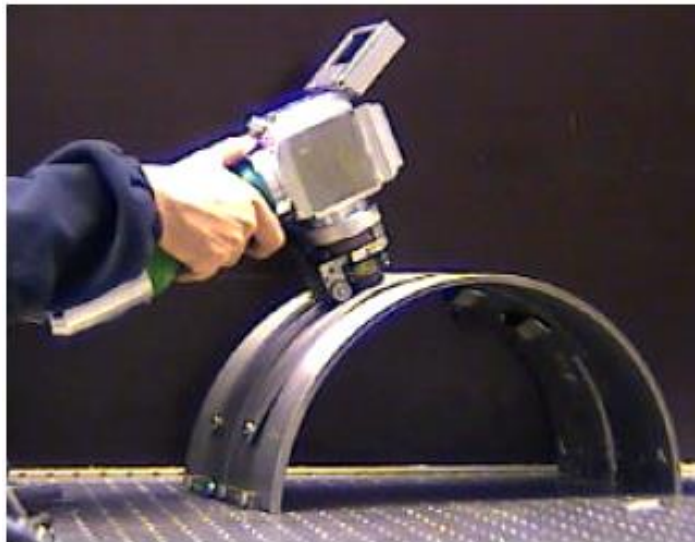
Малюнок 3. Мобільна лазерна установка для очищення поверхні «Clean» [267].

Лазерне випромінювання даної установки використовується для очищення, зокрема, видалення іржі, окалини, фарби та інших забруднень із металевих і неметалічних поверхонь, у тому числі й зі зварених швів. Дана установка комплектується потужним твердотільним лазером, випромінювання якого по світловоду довжиною до 100 м передається на робочий інструмент, який оператор переміщає вручну. Вбудований у робочий інструмент сканер забезпечує необхідну ширину оброблюваної поверхні. Лазер автоматично відключається в той момент, коли робочу головку відводять від оброблюваної поверхні.

В основі лазерного очищення лежить ефект локального випару поверхневих забруднень. Крім того, ці забруднення віддаляються ударною хвилею, створеною лазерним пучком. Пар, що утворюється, і частки із зони обробки віддаляються за допомогою вбудованої в головку вентиляційної системи оснащеної фільтрами. Для технології лазерного очищення характерні незначні термічне й механічне навантаження на основний метал.

На думку авторів [267], компактна конструкція лазерного інструмента, мобільність установки, можливість переміщення робочої головки по поверхні будь-якої довжини й конфігурації повинні сприяти широкому поширенню нової установки в металообробних галузях виробництва.

На Саксонському машинобудівному підприємстві (м. Цвікау, Німеччина) при співробітництві із Лазерним інститутом Університету прикладних наук Міттвайда (м. Міттвайда, Німеччина) розроблений мобільний апарат з робочим інструментом для ручного лазерного зварювання й обробки (мал. 4) [268, 269].



Малюнок 4. Інструмент для ручного лазерного зварювання й обробки [268].

Його можна комплектувати твердотільним Nd:YAG-лазером або діодним лазером потужністю більше 1 кВт, що зв'язується з ручним робочим інструментом оптоволоконним світловодом. Крім того, у комплект апарата входять блоки живлення й керування лазером, а також система охолодження.

Зазначений робочий інструмент має масу 1,5 кг і переміщується вручну. З його допомогою можна зварювати листи з конструкційної й нержавіючої сталей і титана. Хвильовий спектр діодного лазера особливо зручний для зварювання алюмінію, тому мобільний апарат використовується для зварювання різних сплавів із цього металу, зокрема в автомобілебудуванні.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Лазерний ручний робочий інструмент оснащений змінною оптикою, за допомогою якої можна змінювати як фокусну відстань, так і густину його випромінювання на оброблювану поверхню в межах  $(0,2 - 1,0) \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. Оптиковолоконний світловод забезпечує рівномірний профіль перетину лазерного пучка, що спрощує технологію зварювання листів встик без оброблення кромки. Лазерним пучком управляє мікроконтролер, що аналізує вихідний сигнал залежно від швидкості переміщення пальника зварником. При зміні швидкості переміщення виробляється коректування потужності лазерного пучка, що сприяє одержанню звареного з'єднання необхідної якості. Для відхилення лазерного пучка всередині головки встановлене дзеркало, за допомогою якого зварник може також вести спостереження за процесом. У конструкцію робочого інструмента входять функціональні вузли генерування лазерного випромінювання та спостереження за процесом зварювання, клавіші керування і запобіжне блокування, розташовані на рукоятці. Зварювальне сопло має модульну конструкцію й складається із власно сопла, сенсорів, пристрою регулювання фокусної відстані, датчика переміщення й пристрою, що захищає оператора від випромінювання.

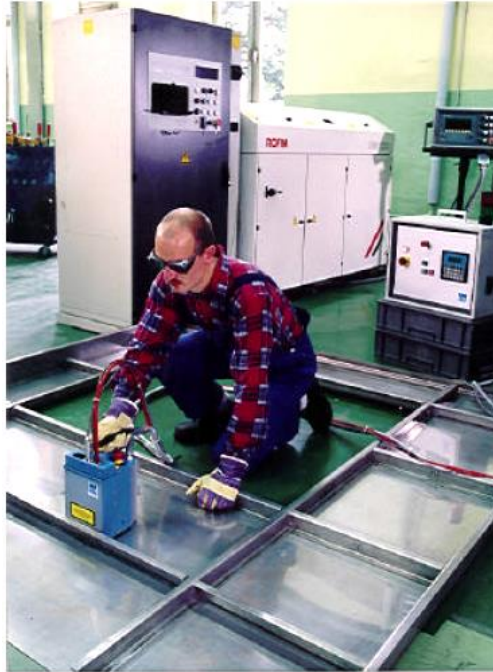
Переносний блок живлення мобільної лазерної установки є принципово новою розробкою й відрізняється насамперед компактністю, швидким реагуванням на різні збурювання й високим ККД. Такий блок дозволяє вибрати параметри зварювання й зміцнення різних матеріалів у постійному або імпульсному режимах.

Інше конструктивне рішення ручного робочого інструмента у вигляді своєрідної «праски» запропоновано в Лазерному центрі Ганноверського університету ім. Лейбніца (м. Ганновер, Німеччина) [270].

У зварювальному учбово-дослідницькому центрі Галле (м. Галле, Німеччина) розроблені два варіанти оригінального переносного устаткування для механізованого лазерного зварювання [270-272]. Джерелом лазерного випромінювання в ньому є твердотільний Nd:YAG -лазер, пов'язаний з робочим інструментом оптиковолоконним світловодом. Переносний апарат LHSG-1 (мал. 5)

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

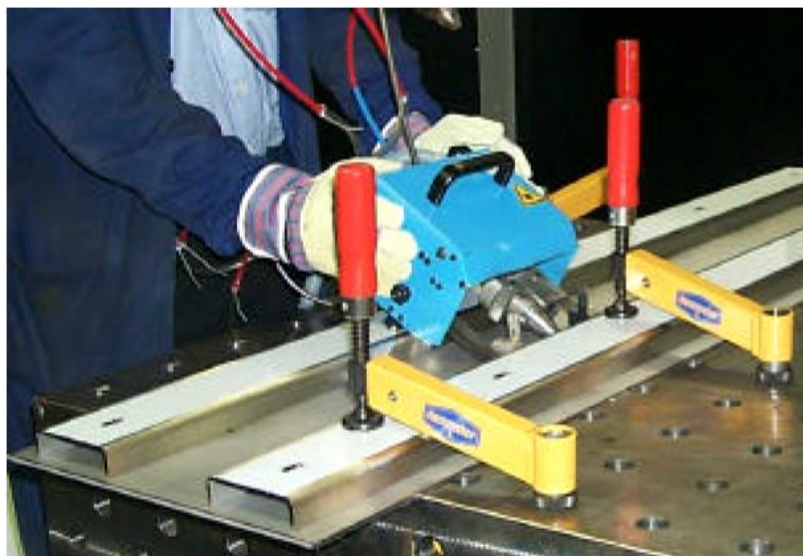
призначений для лазерного зварювання коротких стикових і напусткових з'єднань і гарантує високу якість швів з гарним формуванням. Для зварювання таврових з'єднань використовується переносний апарат LHSG-2 (мал. 6), що дозволяє операторові робити прихватки й наступне зварювання металоконструкції в машино- і суднобудуванні.



Малюнок 5. Лазерне зварювання просторових конструкцій за допомогою ручного лазерного інструмента LHSG-1 [271].

Позиціювання обох апаратів проводиться вручну. Параметри режиму зварювання задаються спеціальною програмою. Процес зварювання починається при стаціонарному положенні апарата, потім зварювальна головка пересувається автоматично на встановлену довжину шва з обраною швидкістю. Зварювання проводиться в захисному газі. Апарати мають захисні екрани від лазерного випромінювання на випадок некоректного обслуговування або інших непередбачених обставин.





Малюнок 6. Лазерне зварювання просторових конструкцій за допомогою ручного лазерного інструмента LHSG-2 [272].

Традиційна для компанії SLV модульна конструкція апаратів, дозволяє задовольняти вимогам виробництва. Апарати можуть бути адаптовані до різних фокуруючих головок. Технічні характеристики установок наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Технічні характеристики установок компанії SLV [271, 272].

| Параметри                          | Значення    |
|------------------------------------|-------------|
| Максимальна довжина шва, мм        | 60          |
| Швидкість зварювання, м/хв         | 0,4 – 2,5   |
| Максимальна потужність лазера, кВт | 2           |
| Габарити LHSG-1, мм                | 150×230×150 |
| Габарити LHSG-2, мм                | 220×240×250 |
| Маса LHSG-1, кг                    | 5,5         |
| Маса LHSG-2, кг                    | 3,5         |

Лазерне випромінювання використовується також для робіт з наплавлення. У зв'язку з великою номенклатурою відновлюваних деталей по типорозмірах і призначенню використовують різні способи, техніку й технологію наплавлення



[273]. Наплавлення у важкодоступних місцях у всіх просторових положеннях, у тому числі на криволінійних поверхнях деталей, роблять із використанням автоматизованого устаткування. Якщо буде потреба багат шарового наплавлення перед наплавленням кожного наступного шару попередній шар фрезерується. За допомогою імпульсного лазера з ручним позиціонуванням можна наплавляти невеликі й прецизійні деталі, відновлювати дуже тонкі крайки без ризику їхнього оплавлення, заварювати дефекти наплавлення після механічної обробки.

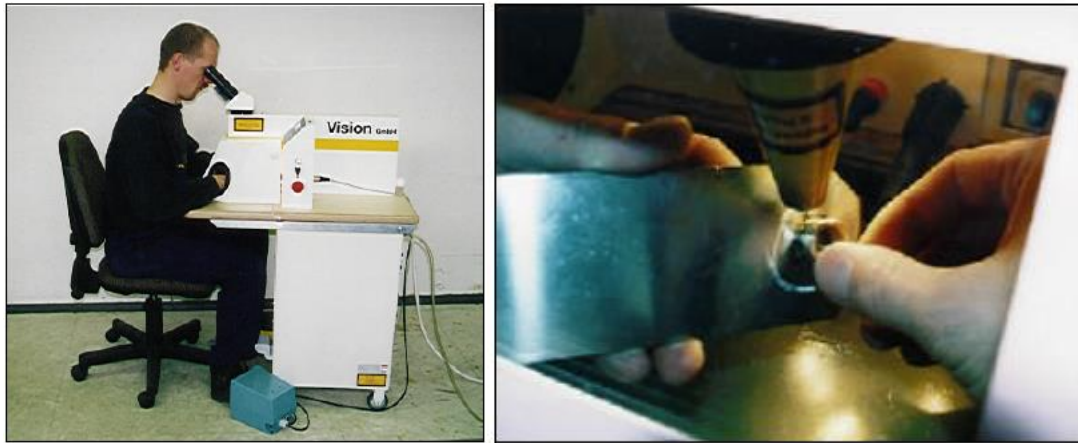
Сьогодні іноземні виробники, включаючи малі й середні підприємства, значно збільшують інвестиції в лазерні технології. Незважаючи на складність і високу вартість лазерного устаткування й технологій, їх застосування в підсумку може бути економічно доцільним, оскільки забезпечить збільшення продуктивності зварювання й більш високу якість продукції.

При використанні ручного лазерного інструменту на сьогоднішній день намітились тенденції застосування його у стаціонарному та напівавтоматичному режимах.

При виконанні експериментів у напівавтоматичному режимі оператор здійснює вручну переміщення лазерної головки відносно оброблюваної поверхні. При цьому всі параметри технологічного процесу встановлюються системою управління.

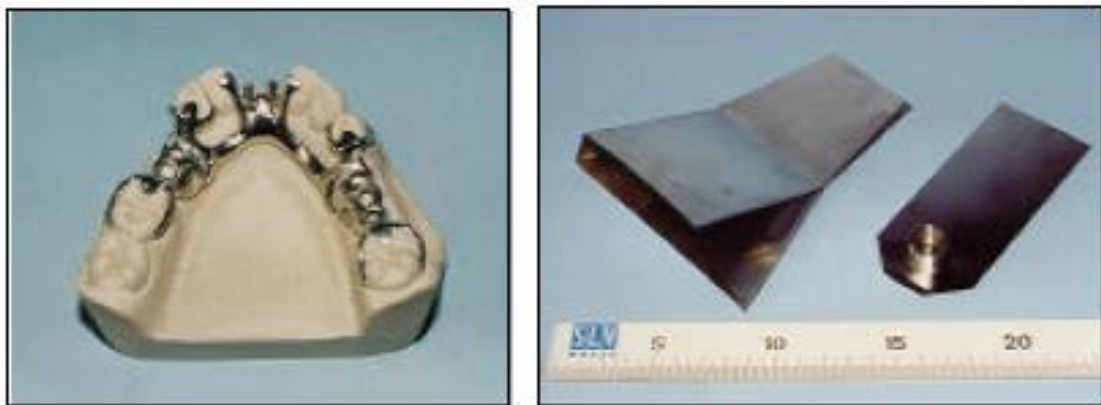
Стаціонарний режим передбачає ведення процесу зварювання та наплавлення при нерухомій системі генерації лазерного випромінювання. Переміщення оброблюваних деталей під час цього процесу оператор здійснює вручну. На мал.8 приведена схема обробки при стаціонарному режимі та типові деталі [274]. На мал. 9 показаний варіант ручного лазерного інструмента для проведення робіт у напівавтоматичному режимі.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



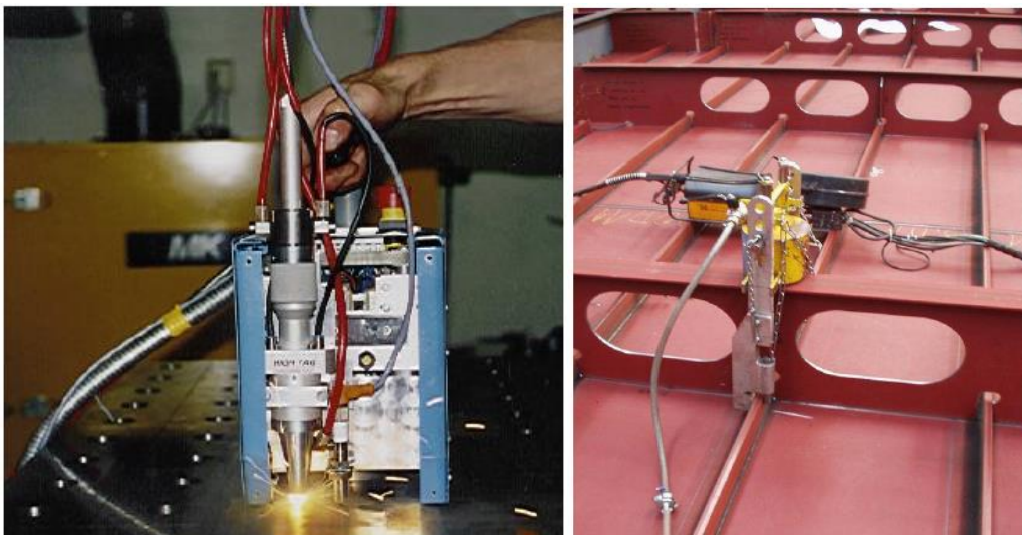
а)

б)



в)

Малюнок 8. Ручне лазерне зварювання у стаціонарному режимі: типове робоче місце оператора (а); схема обробки (б); типові деталі (в) [274].



а)

б)

Малюнок 9. Ручне лазерне зварювання у напівавтоматичному режимі: ручна лазерна головка (а) [274]; типова оброблювана конструкція (б) [275]

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

## Висновки:

1. аналіз робіт, виконаних в цій області, показує, що питання, пов'язані з використанням ручного лазерного інструмента та його всебічним технологічним оснащенням актуальні та знаходяться зараз в стадії інтенсивних наукових досліджень та розробки;

2. роботи, що проводяться в цьому напрямі зорієнтовані, в основному, на використання ручного лазерного інструмента в стаціонарному та напівавтоматичному режимах обробки;

3. в Україні недостатньо вивчені можливості застосування лазерного випромінювання для ручного зварювання та наплавлення металевих сплавів.

#### **4.5 Експериментальні дослідження впливу різних факторів на особливості процесу розпилювального сушіння бактеріального препарату «Біфацил»**

Розробка та виробництво ефективних лікувально-профілактичних бактеріальних препаратів на основі мікроорганізмів є актуальною. Асортимент такої продукції для медицини, ветеринарії, харчової промисловості і різних галузей сільського господарства постійно розширюється. В зв'язку з цим, крім забезпечення необхідних (згідно ТУ) якісних показників, бактеріальні препарати повинні мати низьку собівартість.

Найбільш прийнятною формою таких препаратів є суха, так як забезпечує більш тривалий термін зберігання, зручна при дозуванні та застосуванні. Для отримання сухої форми бакпрепаратів використовують різні способи сушіння. Багатьма фахівцями пріоритет віддається сублімаційному сушінню, але цей метод є занадто тривалим (від 40 до 60 годин та більше), малопродуктивним і енерговитратним, що призводить до збільшення вартості порошкових форм препаратів.

Розпилювальний спосіб зневоднення розглядається як альтернативний і представляє інтерес за рахунок властивих йому переваг: інтенсивний тепло- і масоперенос, мінімальний температурний вплив на продукт, можливість отримання сипких порошоків з необхідним кінцевим вмістом вологи, але вимагає суттєвих доробок у теплотехнологічному плані.

Препарат «Біфацил» - використовується як лікарський та профілактичний засіб у медицині і випускався у сухій формі методом сублімаційного сушіння рядом українських фірм, але має високу собівартість.

Біосуспензія препарату «Біфацил» відноситься до класу високовологих продуктів. Початкова концентрація сухих речовин біомаси становить 3,5...5,0%. Введення в біомасу компонентів захисного середовища, які оберігають клітину від негативного впливу сушіння та покращують структурно-механічні характеристики кінцевого порошкоподібного продукту, підвищує концентрацію

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

сухих речовин суспензії перед сушінням до 9,0...14,0%. Таким чином, високоволога біосуспензія містить: бактеріальні клітини, продукти їх життєдіяльності, залишки живильного середовища, а також компоненти захисного середовища. Багатокомпонентність продукту визначає складність технології розпилювального сушіння.

Основним показником якості порошкоподібних бактеріальних препаратів є кількість життєздатних бактерій в 1 г сухого продукту (КУО/г). Цей показник, що характеризує ступінь біологічної активності висушеного продукту, позначимо терміном "титр біологічної активності" – ТБА. За вимогами (згідно ТУ), ТБА сухої форми бактеріального препарату «Біфацил» повинен бути не нижче  $2 \cdot 10^7$  КУО/г. Треба зазначити, що ТБА сухої форми препарату, який отримували методом сублимаційного сушіння, складав -  $1 \cdot 10^{10}$  КУО/г.

Біосуспензія препарату «Біфацил» містить бактерії двох культур: *Lactobacterium acidophilus* та *Bifidobacterium adolescents*. Біомаса кожного штаму вирощувалась окремо і не відокремлювалася від культуральної рідини. Потім біомаси змішувалися у співвідношенні 1:1. Характеристика біосуспензії представлена в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристика біосуспензії препарату «Біфацил»

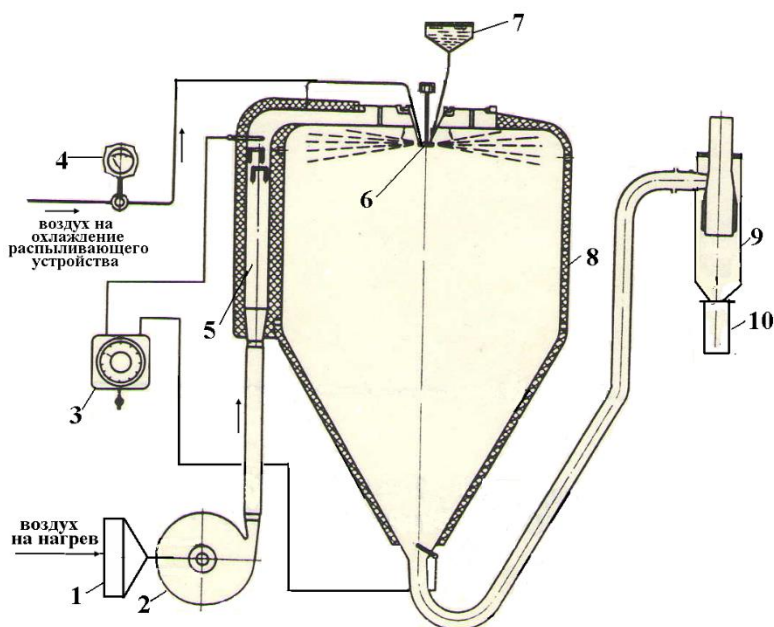
| Найменування                                      | Показник  |
|---|---|
| Культура бактерій                                 | <i>Lactobacterium acidophilus</i><br><i>Bifidobacterium adolescents</i> . |
| Титр активності біомаси, КУО/г                    | $1 \cdot 10^9$  |
| Вміст сухих речовин біомаси ( $C_o^{бм}$ ), %     | 3,5   |
| Захисне середовище                                | розчин з сухого знежиреного молока (СЗМ), цукру, желатини                 |
| Масове співвідношення компонентів біосуспензії, % | БМ : СЗМ : Цукор : Агар-агар<br>18 : 22 : 30 : 30                         |
| Вміст сухих речовин біосуспензії ( $C_o$ ), %     | 9,5   |
| Щільність, кг/м <sup>3</sup>                      | 1038  |
| Температура при подачі до сушарки, °С             | 15...20   |

Початковий вибір температурних умов сушіння ґрунтувався на проведених раніше дослідженнях кінетичних закономірностей зневоднення поодиноких крапель бакпрепаратів, які дозволяють змоделювати процеси, що відбуваються в камері розпилювальної установки.

Процес розпилювального зневоднення проводилися на промисловій розпилювальній сушильній установці EB3-01-РЦ-1,2-09НК-21 (мал. 1).

Установка має камеру з діаметром циліндричної частини  $D_{\text{кам}}=1,2$  м, об'ємом  $V_{\text{кам}}=1,2$  м<sup>3</sup>; циклон спірально-конічного типу діаметром 0,22 м, розпилювач: відцентровий дисковий ЦВ-1,5-36:  $d_d=0,078$  м,  $n = 36000$  об / хв..

Продуктивність сушарки по випареній волозі становить до 10 кг/год. Витрата повітря, що подається в камеру - 250 кг/год, температура повітря на вході може змінюватися в діапазоні  $T_{\text{вх}}=90...270^{\circ}\text{C}$ , на виході  $T_{\text{вих}}=65...110^{\circ}\text{C}$ . Нагрівання повітря проводиться в електрокалорифері. Висушений продукт після циклону зсипається в бункер, а звідти надходить на фасування.



Малюнок 1.Схема розпилювальної сушильної установки

EB3-01-РЦ-1,2-09НК-21:

1-фільтр; 2-вентилятор; 3- прилад для вимірювання температури теплоносія (повітря); 4- прилад для вимірювання витрати повітря; 5- електрокалорифер; 6- розпилювач; 7- ємність для вихідного продукту; 8- розпилювальна камера; 9- циклон; 10- ємність для готового продукту.

Було проведено кілька серій досліджень, які відрізнялися за температурними умовами сушіння, складом захисних середовищ, вмістом біомаси в біосупензії.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

У табл. 1 наведено результати проведених досліджень.

Таблиця 1. Результати проведення серій досліджень  
процесу розпилювального сушіння препарату «Біфацил»  
на промисловій установці EB3-01-РЦ-1,2-09НК-21

| №                       | Співвідношення компонентів суспензії перед сушінням |                           | C <sub>о</sub> <sup>сусп.</sup> % | Температурні параметри сушіння |                        | ТБА                          |                    | Вільний вихід порош-ку з-під циклону, % |
|-------------------------|---|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------|---|
|                         | Склад   | у об. % до сухих речо-вин |                                   | T <sub>вх.</sub> , °C          | T <sub>вих.</sub> , °C | Біомаси, КУО/см <sup>3</sup> | порошку, КУО/г     |   |
| <b><i>I-серія</i></b>   |   |                           |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
| 1                       | <b>Біомаса</b>                                      | <b>18</b>                 | 9,0                               | 130±5                          | 80±5                   | 1·10 <sup>10</sup>           | 1·10 <sup>8</sup>  | 60,0                                    |
|                         | СЗМ   | 22                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
|                         | Цукор   | 30                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
|                         | Агар-агар   | 30                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
| <b><i>II-серія</i></b>  |   |                           |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
| 2                       | <b>Біомаса</b>                                      | <b>30</b>                 | 11,0                              | 150±5                          | 60±5                   | 1·10 <sup>10</sup>           | 1·10 <sup>9</sup>  | 65,0                                    |
|                         | СЗМ   | 26                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
|                         | Цукор   | 24                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
|                         | Желатин   | 20                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
| <b><i>III-серія</i></b> |   |                           |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
| 3                       | <b>Біомаса</b>                                      | <b>48</b>                 | 14,0                              | 160±5                          | 60±5                   | 1·10 <sup>10</sup>           | 1·10 <sup>8</sup>  | 65,0                                    |
|                         | СЗМ   | 26                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
|                         | Лактоза   | 26                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
| <b><i>IV-серія</i></b>  |   |                           |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
| 4                       | <b>Біомаса</b>                                      | <b>50</b>                 | 14,0                              | 160±5                          | 80±5                   | 1·10 <sup>10</sup>           | 1·10 <sup>10</sup> | 87,0                                    |
|                         | СЗМ   | 23                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
|                         | Цукор   | 23                        |                                   |                                |                        |                              |                    |   |
|                         | Желатин   | 4                         |                                   |                                |                        |                              |                    |   |

### ***I-серія***

Поживне середовище, в якому відбувалося накопичення біомаси, складалося з наступних компонентів: сухе знежирене молоко (СЗМ), лактоза, сіль та агар-агар.

Захисне середовище (ЗС) складалося з трьох компонентів: СЗМ, цукор, агар-агар. Такий склад ЗС використовувався раніше при отриманні даного препарату в сухій формі методом сублимаційного сушіння. Компоненти окремо розчинялися у воді, проходили термообробку та змішувалися з біомасою шляхом механічного перемішування. Як видно з даних табл. 1, №1, масове співвідношення компонентів у біосуспензії становило: 18% клітинної біомаси та 82% компонентів захисного середовища.

При проведенні експерименту в біосуспензії, що надходить на розпилювач, виявлено включення і було прийнято рішення її відфільтрувати (використовували сито з розмірами комірок 1 мм). Після фільтрації на ситі залишилося кілька плівок агар-агару.

Процес розпилювального сушіння біосуспензії препарату «Біфацил» проводився при температурних параметрах:  $T_{вх}=130\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{вих}=80\pm 3^{\circ}\text{C}$ . Вільний вихід порошку з-під циклону склав низьке значення - 60 % від загальної кількості порошку, а в камері спостерігалися значні відкладення продукту. Структурно-механічні та якісні показники порошку: кінцева вологість  $W_k=6,3\%$ ; насипна щільність  $\rho_n = 475 \text{ кг/м}^3$ ; кут схилу –  $38^{\circ}$ , титр активності -  $1\cdot 10^8 \text{ КУО/г}$ , що значно нижче (~в 100 разів), ніж порошку, який отримували сублімаційним сушінням.

За допомогою мікроскопа МБІ ЗУ4.2 та цифрового фотоапарата "Sony Cyber Shot SCS-160" були зроблені фотографії отриманого порошку. Мікроструктурний аналіз порошку показує (мал. 2), що компоненти захисного середовища утворюють навколо клітин капсулу, що оберігає їх від впливу високих температур. Але, внаслідок незбалансованої кількості компонентів ЗС, отриманий порошок містить велику кількість прозорих частинок, які не містять бактеріальних клітин.



Малюнок 2. Мікрофото зразка порошку препарату «Біфацил» І-серії зі стінок камери, 1 розподіл шкали - 4 мкм.



Крім того, в порошок присутні агломерати розміром 100...240 мкм, деякі з них вміщують бактеріальні клітини. На нашу думку, поява їх у порошок може бути викликана низкою причин.

Значна кількість цукрів та біополімерів, що використовуються при приготуванні живильного середовища, могла бути не перероблена клітинами при їх культивуванні. У подальшому, внесення даних компонентів в захисне середовище (у кількості 60% до сухих речовин біомаси), могло призвести до їх випадання через перенасичення суспензії. Наявність таких агрегованих частинок і плівок в рідкому продукті ускладнювало його подачу на розпилюючий пристрій, сприяло відкладенням в каналах диска розпилювання і трубопроводі, що призводить до дестабілізації роботи сушарки. З іншого боку, в процесі сушіння, такі великі частинки відкидаються на стінки камери і під впливом температури розм'якшуються, оплавляються, утворюють наліт, на який осідають інші частинки (відкладення порошку на стінках камери складало ~25% від загальної кількості порошку). Погіршуються умови евакуації порошку із сушильної камери, продукт піддається тривалому термічному впливу протягом усього циклу роботи установки, що сприяє значному зниженню активності титру.

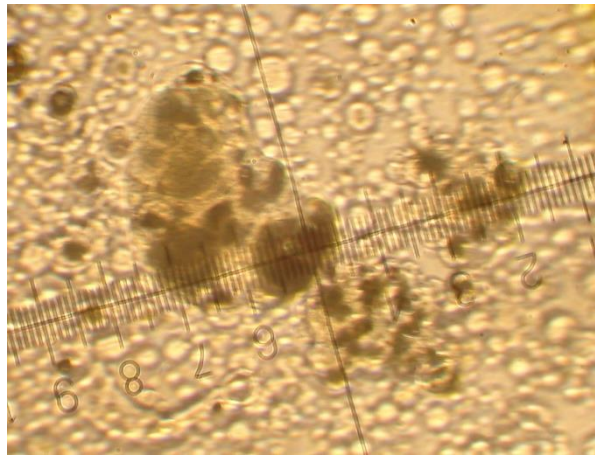
Було ухвалено рішення випробувати інші за складом та кількістю захисні середовища. Підбір компонентів проводився разом із мікробіологами

### *II-серія*

Під час підготовки біосупензії цієї серії було вирішено виключити зі складу живильного та захисного середовища такий компонент як агар-агар. Замість нього в захисне середовище вводили желатин. У живильне середовище вводили лише СЗМ.

Збільшення вмісту клітинної біомаси в біосупензії з 18% до 30% і більш скоригований склад захисного середовища дозволив збільшити ТБА порошкоподібного препарату – до  $1 \cdot 10^9$  КУО/г. Частка вільного виходу порошку з-під циклону складала 65%, решта порошку осіла на стінки і була видалена після зупинки сушарки (табл. 1, №2)

Незважаючи на зниження кількості біополімеру у складі ЗС (з 30% до 20%), мікрофотографія зразка порошку II-серії демонструє наявність значних за розмірами плівок желатину та агломератів (мал. 3)



Малюнок 3. Мікрофото зразка порошку біосуспензії «Біфацил», знятого зі стінок сушильної камери (1 розподіл шкали - 4 мкм).

### ***III-серія***

Для поліпшення якісних характеристик порошку було вирішено виключити желатин зі складу захисного середовища, а також випробувати й іншу вуглеводну складову ЗС – лактозу. Змінилися температурні умови сушіння. Як видно з даних табл.1, №3, незважаючи на збільшення відсотка вмісту в суспензії біомаси до 48%, ТБА отриманого порошку знизився на порядок і становив  $1 \cdot 10^8$  КУО/г.

Захисні функції вуглеводів пояснюються здатністю утворювати водневі зв'язки, які утворювали молекули води. Водневі зв'язки з біополімерами повинні максимально відповідати гексагональній структурі водних кластерів - по кутах та відстанях [1]. Дана серія дослідів показала, що не всі вуглеводи однаковою мірою мають цю здатність і у лактози, очевидно, вона нижча, ніж у цукру. Крім того, на зниження активності клітин даних штамів впливає відсутність желатини.

### ***IV серія***

Проведені три серії досліджень дозволили визначити основні компоненти ЗС для біомаси даного препарату: СЗМ, цукор, желатин, а також необхідність проведення спеціальної підготовки біосуспензії до процесу сушіння, що включає процеси диспергації та гомогенізації.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Рідка система, що досліджується, містить різні за своїми фізико-хімічними властивостями компоненти: бактеріальні клітини, цукор, білок та біополімер (желатин). Спосіб змішування компонентів з використанням стандартного низько швидкісного обладнання (15...25 об/хв) не може забезпечити гомогенну структуру багатокомпонентної системи, що викликає появу плівок желатини в біосуспензії, крім того тривалість цього процесу складає 20...30 хв. Тому, для отримання порошкоподібних бакпрепаратів високої якості, нами запропоновано проводити підготовку рідкої біосуспензії до процесу розпилювального сушіння з використанням роторно-пульсаційного апарату AP-3000, в якому процеси гомогенізації та диспергації здійснюються шляхом дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) в багатокомпонентну систему [2].

Аналіз проб рідкого продукту після обробки на AP-3000 показав зниження титру активності біосуспензії. Біомаса даного препарату містить культури вегетативних клітин та активна гідродинамічна обробка призводить до пошкодження їх оболонок та загибелі клітин.

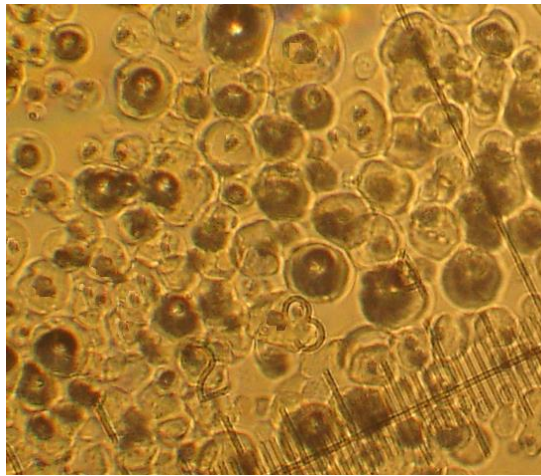
Було прийнято рішення обробляти тільки багатокомпонентне захисне середовище, що складається з цукру, СЗМ і желатини. Визначено тривалість такої обробки для отримання гомогенної суспензії - 3...7 хв, яка потім змішувалася з біомасою клітин у звичайному режимі. Також, для збільшення вмісту біомаси клітин у біосуспензії, було запропоновано відокремлювати біомасу від живильного середовища, в якому відбувалося її накопичення, методом відцентрового фільтрування. Вміст сухих речовин біомаси підвищився до 10%, а біосуспензії препарату перед сушінням до 14,0%.

Процес розпилювального сушіння проводився за наступних умов: температура повітря на вході в камеру -  $T_{\text{вх}} = 160 \pm 5^\circ\text{C}$ , на виході з сушарки -  $T_{\text{вих}} = 80 \pm 5^\circ\text{C}$ ; витрата повітря  $Q = 218$  кг/год.

Скориговане співвідношення масової кількості бактеріальних клітин та компонентів захисного середовища (50:50%) виключило утворення порожніх частинок у порошку (мал. 4). Зменшення до 27% у складі захисного середовища кількості речовин, що здатні виявляти при високотемпературному сушінні

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

термопластичні та адгезійні властивості (цукор, желатин), скориговане співвідношення з ними СЗМ (23%), що не виявляє в процесі розпилювального сушіння адгезійних властивостей, сприяло зменшенню відкладень продукту на стінках камери. Структурно-механічні характеристики порошку:  $W_k=4,5\%$ ,  $\rho_n=520 \text{ кг/м}^3$ , що покращило транспортування продукту із сушильної камери. Вільний вихід порошку в приймальну ємність становив 87%. Титр активності порошкоподібного продукту підвищився і має високе значення  $1 \cdot 10^{10} \text{ КУО/г}$ , таке саме, як і при сублимаційному сушінні.



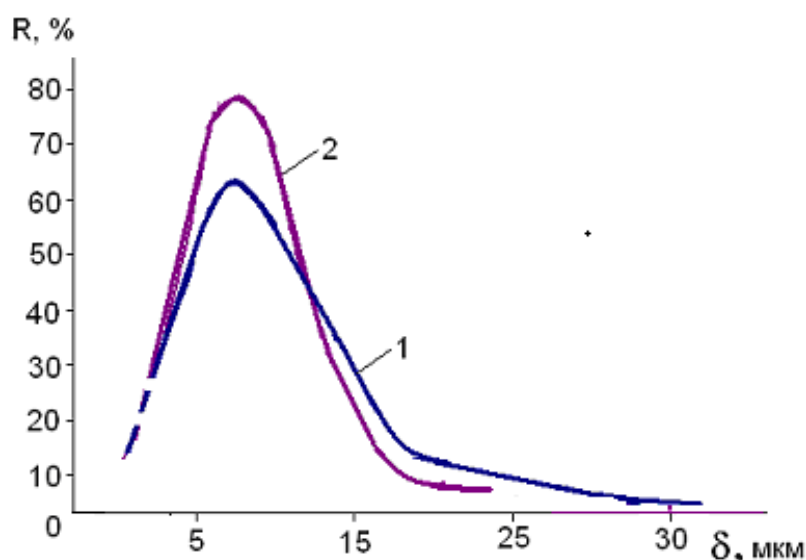
Малюнок 4. Зразок порошку «Біфацил» ( $C_o=14,0\%$ ), отриманий методом розпилювального сушіння при  $T_{\text{вх}}/T_{\text{вих}} - 160/80^\circ\text{C}$ , з обробкою ЗС на роторно-пульсаційному апараті (1 розподіл шкали - 2 мкм).

Аналіз мікроструктури та графіка диференціального розподілу часток за розмірами (мал. 5) отриманих зразків порошку показав, що підготовка рідкого продукту до процесу сушіння на роторно-пульсаційному апараті дозволяє:

- в процесі розпилювального сушіння одержати однорідний по дисперсному складу порошок, що надалі підвищує ефективність його сепарації. Кількість частинок середнього розміру ( $\delta_{\text{ср}} \approx 7 \text{ мкм}$ ) у зразку продукту, що пройшов попередню підготовку становить 80%, що в 1,2 рази більше, ніж у порошку продукту, підготовленого за стандартною технологією;

- виключити появу у порошку великих желатинових плівок, що дозволяє зменшити його відкладення на стінках камери до 5...10% від загальної кількості порошку;

- отримати стійкий ефект мікрокапсулювання клітин компонентами захисного середовища.



Малюнок 5. Диференціальні криві розподілення частинок за розмірами зразків порошку препарату «Біфацил» ( $C_0=16,6\%$ ), отриманих на установці

ЕВЗ-01-РЦ-1,2-09НК-21 при  $T_{вх}/T_{вих} - 160/80^{\circ}\text{C}$  :

1 - без обробки ЗС на роторно-пульсаційному апараті;

2 - з обробкою ЗС на роторно-пульсаційному апараті.

Експериментальними дослідженнями процесу розпилювального зневоднення біосуспензії препарату «Біфацил» підтверджено можливість отримання порошкового продукту високої якості з титром активності не менше  $10^{10}$  КУО/г при використанні теплоносія з параметрами:  $T_{вх}=160\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{вих}=80\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Встановлено, що оптимізація співвідношень компонентів захисного середовища, регулювання кількості біомаси, а також спосіб підготовки біосуспензії до процесу сушіння призводить до значного підвищення якісних характеристик порошку препарату «Біфацил» і дозволяє більш економно використовувати компоненти, що входять до складу захисного середовища.

**SECTION 5. MECHANICAL ENGINEERING**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4.5.1

**5.1 The effect of the influence of aqueous metaupon solutions on the friction resistance in the gap between a rotating rotor and a stationary stator**

One of the well-known ways of saving energy is the regulation of the braking moment of the hydraulic brake by changing rotor eccentricity in a hydrodynamic active fluid [278]. The design of the hydraulic brake is characterized by small dimensions and energy consumption of the stator drive and allows arbitrary orientation of the rotor shaft in space. The hydraulic resistance of the rotor in a hydrodynamic active fluid is controlled by moving the stator, forming an annular closed confusing-diffuser gap between them. The advantage of this method of regulating the braking torque is described in the works [279, 280].

A Literature review. Data on the influence of hydrodynamic active micelle-forming surfactants (MFS) on turbulent friction resistance when studying the flow of their micellar solutions in pipes are given in the work [281].

The possibility of effective use of MFS to increase the efficiency of some closed hydraulic systems for supplying heat and cold or water pumping systems is shown in paper [282].

Additives of MFS in homogeneous solutions have reverse mechanical destruction. This allows them to be used without loss of efficiency in main pipelines, where the movement of working fluids is provided by pumps.

The results of experimental studies on determining the dependence of the coefficient of the moment of hydrodynamic friction resistance on the Reynolds number during the flow of water-salt solutions of hydrodynamic active industrial metaupon paste in the gap between coaxial cylinders are given in [283]. These conditions make it possible to maintain certain friction stresses on the wall of rotating cylinder for a long time. Sodium chloride, the content of which in metaupon solutions was 8.0%, was used as an electrolyte that helps micelle formation in

surfactant solutions.

The structural and mechanical properties of surfactant solutions and their hydrodynamic efficiency depend significantly not only on the concentration of additives, but also on the structure of the hydrocarbon radical of the surfactant molecule [283, 284].

The analysis of literary sources showed that the most of scientific works are devoted to the study of the flow of liquids with surfactants between coaxial cylinders. However, there are works devoted to the study of such flows between not coaxial cylinders. For example, paper [285] showed that during the flow of surfactant between not coaxial cylinders when the outer cylinder was rotating, the rotor resistance decreased by 18% at the values of the Reynolds number  $5000 < Re < 15000$ , and the stator resistance decreased by an average of 20% at  $2000 < Re < 10000$  and up to 30% at  $Re = 15000$ .

Experimental research. Experimental stand. In the experimental stand (Fig. 1), the rotor is rigidly connected to the shaft of a DC electric motor mounted on a base plate. The stator, filled with the working fluid, relative to the rotor was installed with the possibility of radial reciprocating motion. The stator diameter was  $D = 142$  mm, the rotor diameter was  $d = 42.1$  mm and the rotor height was  $H = 153$  mm.

A detailed description of the experimental stand is presented in [286].

The annular gap between the rotor and the stator with a width  $b_k$ , corresponding to their initial concentric arrangement, changed into a closed confuser-diffuser gap with a width  $b_e$  (Fig. 2) when the rotor position changed.

The experiments were carried out at a relative gap width equal to  $b_e/b_k = 0.265 \dots 1.0$  (Table 1).

Selection of working fluid. The studies were carried out for water flows and flows of water with metaupon additives with mass concentrations of 0.1%, 0.5% and 1.0%. For thickening, 7% of their weight of sodium chloride (NaCl) was added to metaupon solutions and for stabilization – 0.2% of sodium hydrogen carbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ).

Table 1

The values of the relative width of the gap between the rotor and the stator were studied

| Diameters, mm    |                   | d/D  | Relative gap width $b_e/b_k$ |
|------------------|-------------------|------|------------------------------|
| Rotor diameter d | Stator diameter D |      |                              |
| 42.1             | 142               | 0.30 | 0.265; 0.51; 0.755; 1.0      |

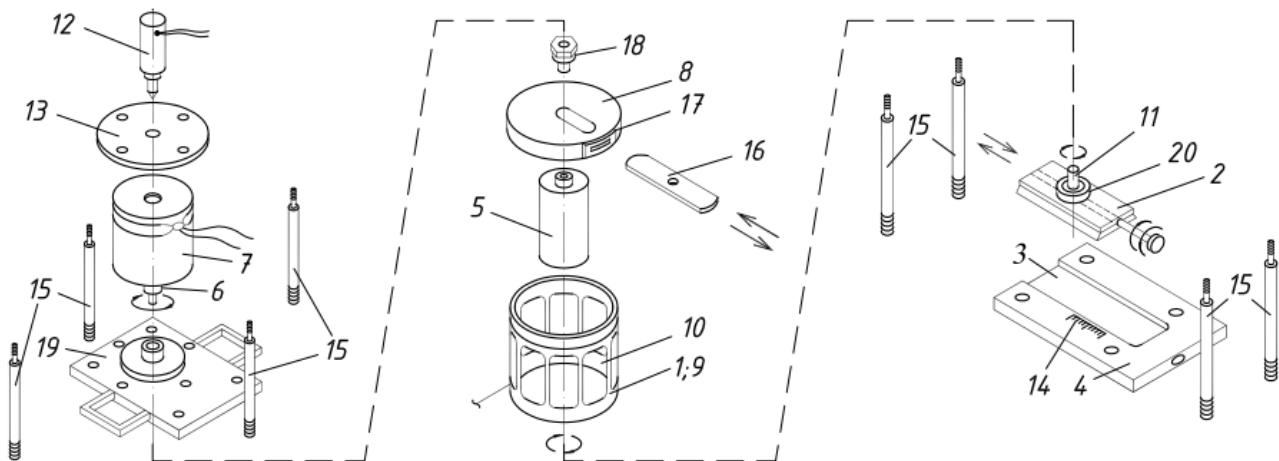


Figure 1. Scheme of the experimental stand: 1 – stator; 2 – movable plate; 3 – groove; 4 – base plate; 5 – rotor; 6 – shaft; 7 – DC electric motor; 8 – cover; 9 – metal frame; 10 – transparent cylinder; 11 – axis; 12 – tachometer; 13 – plate; 14 – scale; 15 – stand; 16 – sealing plate; 17 – seals; 18 – intermediate sleeve; 19 – plate; 20 – clamp [286]

Calculation formulas. The average tangential stresses on the rotor wall are determined by dependence:

$$\tau = \frac{T}{2\pi \cdot r \cdot H}, \quad (1)$$

where T – the total friction force applied to the side surface of the rotor.

Taylor criterion determined by dependence:

$$Ta = \frac{V \cdot b}{v} \cdot \sqrt{\frac{b}{r}}, \quad (2)$$



where  $V$  – linear rotation velocity of the rotor;

$\nu$  – kinematic viscosity of the liquid;

$r$  – rotor radius.

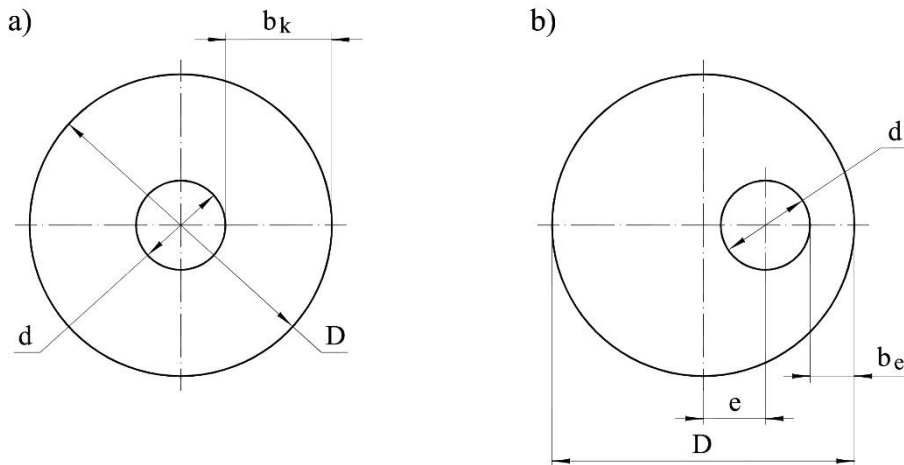


Figure 2. Schemes of coaxial (a) and non-coaxial (b) arrangement of the rotor and stator:  $e$  – eccentricity;  $b_k$  – the width of the gap with a concentric arrangement of the rotor;  $b_e$  – the width of the gap with a eccentric arrangement of the rotor

The friction coefficient in the gap between the rotor and the stator was determined as:

$$C_f = \frac{G}{Re^2}, \quad (3)$$

where  $G$  – dimensionless torque on the inner cylinder in the gap between the rotor and the stator,

$$G = \frac{T}{\rho \cdot \nu^2 \cdot H}, \quad (4)$$

where  $\rho$  – liquid specific gravity;

$\nu$  – kinematic viscosity of the liquid.

Reynolds criterion determined by dependence:

$$Re = \frac{\Omega \cdot r \cdot (r_o - r)}{\nu}, \quad (5)$$

where  $r_o$  – stator radius;

$\Omega$  – angular rotation velocity of the rotor.

The effect of influence on the rotor frictional resistance was determined by the

formula:

$$DR \% = \frac{c_{f,\omega} - c_{f,s}}{c_{f,\omega}} \times 100. \quad (6)$$

where  $c_{f,\omega}$  – coefficient of friction in the gap between the rotor and the stator during water flow;  $c_{f,s}$  – coefficient of friction in the gap between the rotor and the stator during water with metaupon additives flow.

Results and discussion. The results of the influence of eccentricity and concentrations of aqueous solutions of metaupon on the hydrodynamic resistance of the rotor are presented. Each of the obtained points is the arithmetic mean of three repeated measurements.

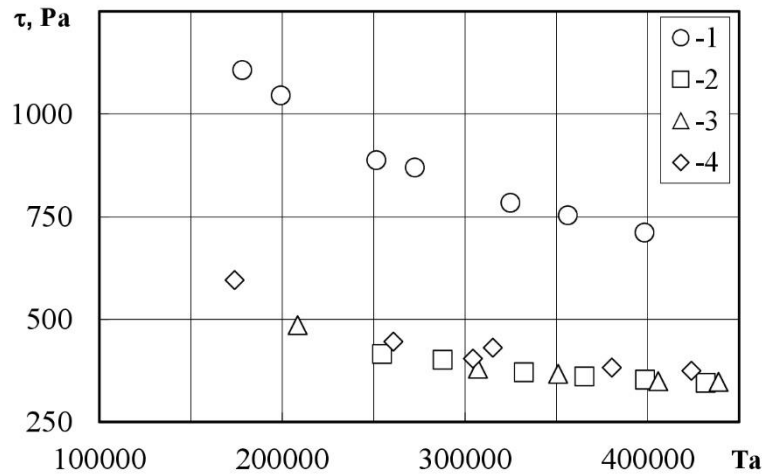
Graphic dependences of  $\tau = f(Ta)$  for the flow of aqueous solutions of metaupon in the gap between cylinders for  $d/D = 0.30$  and  $b_e/b_k = 0.265; 0.51; 0.755; 1.0$  is presented in fig. 3.

For the studied range of values of the Taylor criterion  $Ta = 100000...450000$ , the average tangential stresses on the wall of the rotor, which rotated in water and in aqueous solutions of metaupon (Fig. 3, a, b, c), decrease with an increase in the criterion  $Ta$  and with a decrease in the ratio  $b_e/b_k$ , i.e. with increasing eccentricity  $e$  (Fig. 2).

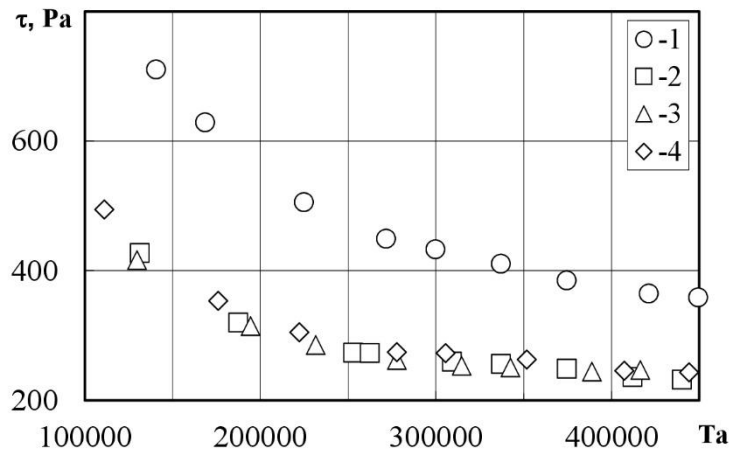
During water flow, the tangential stresses on the rotor wall ( $d/D = 0.30$ ) for all investigated values of  $b_e/b_k$  increase. Additions of metaupon increased the tangential stresses on the rotor wall with coaxial arrangement of the cylinders ( $b_e/b_k = 1$ ) for concentrations 0.1%, and decreased them for concentrations 0.5% and 1.0%. With an eccentric arrangement of the rotor, its hydraulic resistance increased for all values of  $b_e/b_k$  (Table 2). Additives of metaupon of all studied concentrations caused a change in the resistance of the rotor.

On fig. 4 presents the results of the change in the friction coefficient for aqueous solutions of metaupon ( $C = 0.1\%, 0.5\%, 1.0\%$ ) at relative gap widths  $b_e/b_k = 1.0; 0.755; 0.51; 0.265$ .

a)



b)



c)

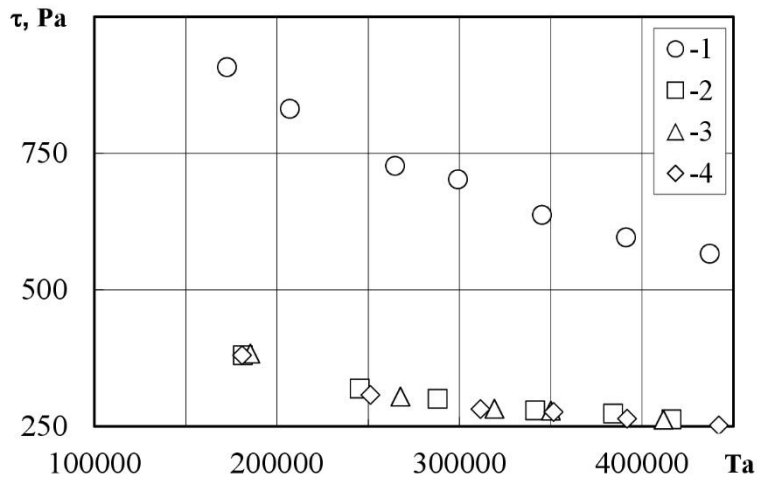
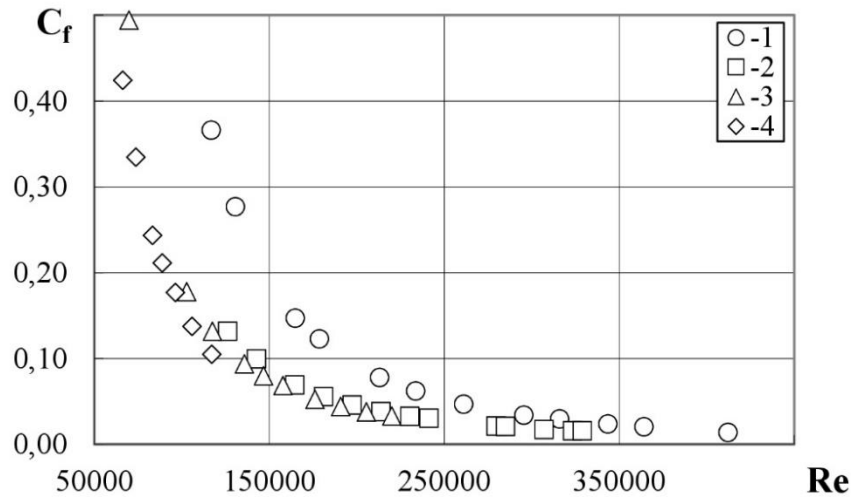
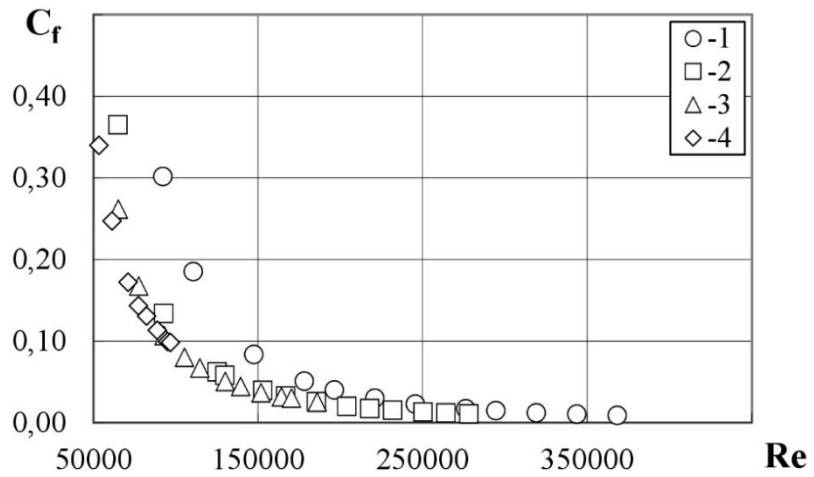


Figure 3. Influence of the eccentricity of the rotor with  $d = 42.1$  mm during rotation in metaupon solutions with mass concentrations, %: 0.1 (a); 0.5 (b); 1.0 (c) for the width of  $b_e/b_k = 1.0 - (1)$ ;  $0.755 - (2)$ ;  $0.51 - (3)$ ;  $0.265 - (4)$

a)



b)



c)

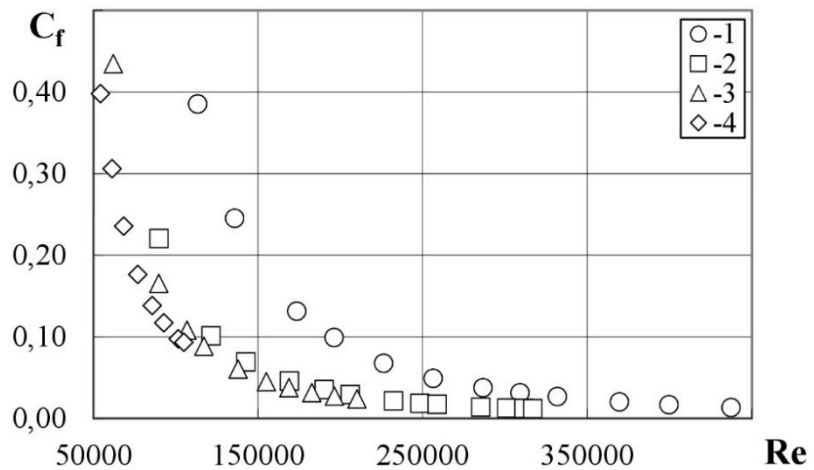
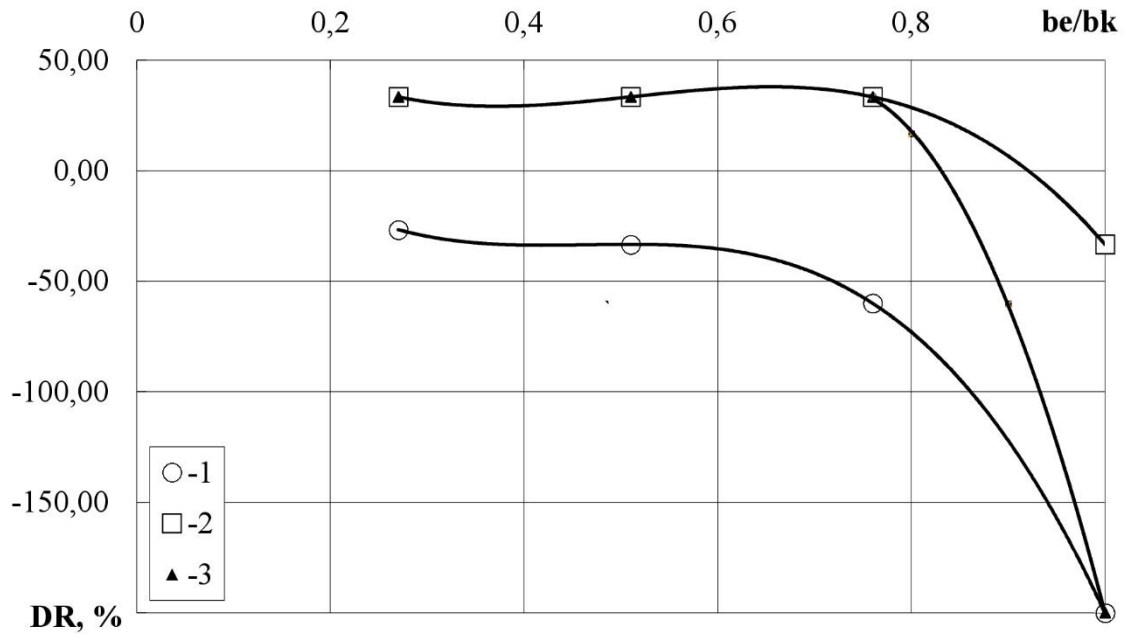


Figure 4. Influence of the eccentricity of the rotor with  $d = 42.1$  mm during rotation in metaupon solutions with mass concentrations, %: 0.1 (a); 0.5 (b); 1.0 (c) for the width of  $b_e/b_k = 1.0 - (1)$ ;  $0.755 - (2)$ ;  $0.51 - (3)$ ;  $0.265 - (4)$

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

a)



b)

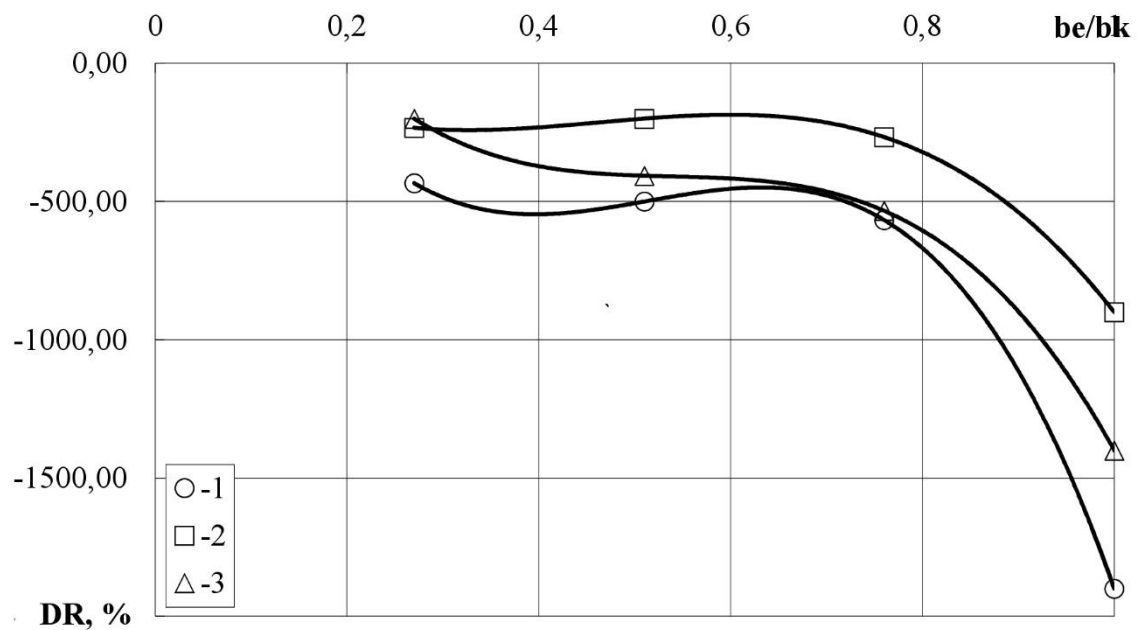


Figure 5. The effect on the friction resistance at a relative gap width  $b_e/b_k$  for aqueous solutions of metaupon with mass concentrations of 0.1% (1), 0.5% (2) and 1.0% (3) at  $Re = 200000$ (a) and  $100000$ (b)

With an increase in the values of the Reynolds criterion, the friction coefficient decreases for all studied concentrations of aqueous solutions of metaupon. For fixed values of the Reynolds number, a decrease in the friction coefficient of the studied

solutions was obtained with a decrease in the width of the gap [287-293].

Table 2

The impact of the inconsistency position of the rotor on its hydraulic resistance at

$Ta = 400000$

| Relative gap<br>width $b_e/b_k$ | Tangential stresses on the rotor wall $\tau$ , Pa, at the concentration of<br>an aqueous solution of metaupon C, % |     |     |     |
|---------------------------------|--|-----|-----|-----|
|                                 | 0  | 0.1 | 0.5 | 1.0 |
| 1.0                             | 574  | 711 | 370 | 590 |
| 0.265                           | 1260   | 380 | 260 | 263 |

The effect of DR aqueous solutions of metaupon on the frictional resistance of the rotor at  $Re = 200000$  and  $Re = 100000$  decreases with increasing values of  $b_e/b_k$ , starting from  $b_e/b_k = 0.6 \dots 0.755$  for concentrations  $C = 0.1\%$  and  $0.5\%$ , respectively (Fig. 5). Moreover, increasing the concentration from 0.1 to 0.5% reduces this effect. The concentration  $C = 1.0\%$  occupies an intermediate value of the DR effect, therefore its use is inefficient.

Therefore, the performed studies revealed the effect of aqueous solutions of metaupon with mass concentrations  $C = 0.1\%$ ,  $0.5\%$ ,  $1.0\%$  on the friction resistance in the gap between the rotating rotor and the stationary stator at  $d/D = 0.30$  for the values of  $b_e/b_k = 1.0; 0.755; 0.51; 0.265$ .

## **5.2 The effect of the influence of aqueous ditalan solutions on the friction resistance in the gap between a rotating rotor and a stationary stator**

When designing engines, their prototypes are tested on experimental stands. In this case, the load on the shaft is created by hydraulic brakes with an adjustable braking torque. In hydraulic brakes, the rotor is coaxial with the stator, which is filled with a working fluid. The braking moment can be adjusted in three ways: by changing the contact area of the rotor surface with the working fluid; by changing the ratio of ingredients of the working fluid (liquid-gas mixture); by changing the direction of supply of the working fluid in the stator. The contact area of the rotor surface with the working fluid is changed, as a rule, by raising or lowering the stator with the working fluid.

In paper [294], an energy-saving method of regulating the braking torque of a hydraulic brake by changing the eccentricity of the rotor in the working fluid with hydrodynamical active additives (HAA) is proposed. The proposed installation has smaller dimensions and energy consumption of the stator drive and allows the rotor shaft to be placed in any position. The hydraulic resistance of the rotor in the liquid with the HAA is regulated by moving the stator, forming a closed annular confuser-diffuser gap between them (Fig. 1). Hydraulic brakes of this type are also described in the works [295, 296].

A Literature review. The number of scientific papers devoted to the flow of fluids with HAA between coaxial cylinders is not as large as between disks or spheres. Of the analyzed scientific papers on the flow between eccentric cylinders, only two refer to the effect of the HAA [297, 298].

Couette flows with Taylor vortices appear in the gap between the rotor and the stator. Taylor-Couette flow is widely used to study the instability and flow formation in the transition zone and turbulence zone in laboratory conditions.

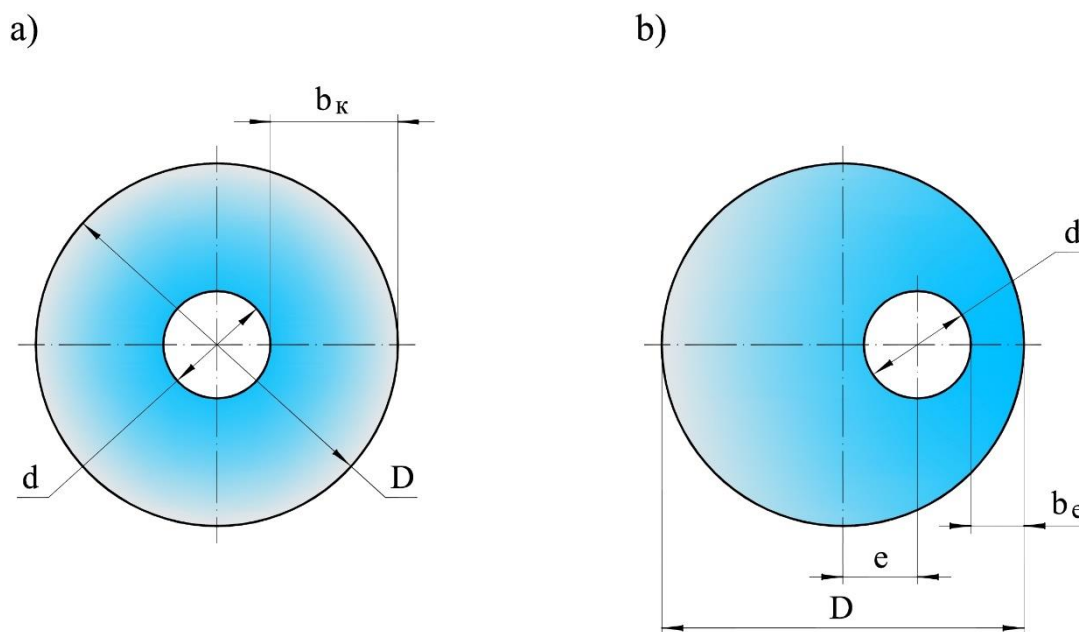


Figure 1. Schemes of rotor and stator arrangement: a) concentric;  
b) eccentric;  $b_k$  – the width of the gap at the coaxial arrangement of the rotor,  
 $b_e$  – at the axial;  $e$  – eccentricity

Taylor-Couette flow was first investigated by G.I. Taylor, who observed and calculated the critical value of the Reynolds number needed to obtain instability in a one-dimensional solution in this system. These instabilities are cellular toroidal vortices that propagate sequentially along the axis of the cylinder. A. Davey obtained the value of the torque acting on the cylinders by numerical calculation for the Taylor vortex flow [299]. J.A. Cole first observed the second critical Reynolds number and demonstrated it using flow visualization [300]. The visualization shows that with a further increase in the angular velocity (greater than the first critical Reynolds number), a wavelike vortex flow is observed. By measuring the torque, it was proved that the Taylor vortex flow becomes unstable beyond this critical velocity. An increase in the value of the second critical Reynolds number was observed with increasing annular gap, and the values coincided with theoretical predictions for aspect ratios greater than 40. R.J. Donnelly and N.J. Simon [301] developed a mathematical relationship for the torque through fluid friction against the outer cylinder as a function of the angular velocity of the inner cylinder and verified it with experimental data. F. Wendt used the dimensionless torque to scale the torque and developed an empirical



relation for the Taylor-Couette system [302].

Surfactants have a strong potential for drag reduction, but they are not widely studied compared to high molecular weight polymers. Unlike polymers, surfactants substances have the advantage of displacement resistance in displacement in pumps and other high stress zones. Surfactants have the ability to self-healing, which gives them an advantage over polymers [303]. The decrease in the resistance obtained in the case of surfactants flow may be higher than polymers [304].

The Taylor-Couette system was widely studied to reduce resistance using additives, and various surface modifications were investigated [305, 306]. A number of studies have been conducted to reduce the resistance of the Taylor-Couette flow using polymers, surfactants, etc. [307, 308].

Experimental research. Experimental stand.

The scheme of the experimental stand is presented in fig. 2. A detailed description of the experimental stand is presented in [309]. The installation consists of a stator 1, which is pivotally mounted on a plate 2, which reciprocates in the groove 3 of the base of the plate 4. The plate is set in motion by a threaded screw 5 and a handle 6. A rotor 7 is installed in the cavity of the stator 1, which is connected by a shaft 8 to an electric motor 9. The electric motor is rigidly attached to the base plate 4. The shaft 8 is passed through the hole in the impermeable cover 10, which is fixed on the stator 1. The stator consists of a metal frame 11 with holes inside which a transparent cylinder 12 is rigidly fixed. In the bottom of the stator 1, the axis 13 is pressed, which is installed in the bearing installed on the plate 2. The experimental stand is equipped with a device for converting alternating current into direct current. To measure the rotation velocity of the rotor, a tachometer 14 was used, which is in contact with the end of the motor shaft 9. The inner diameter of the stator was 142 mm and rotor – 42.1 mm.

The experimental stand allows to study fluid flows in an annular or closed confuser-diffuser gap between cylinders at different values of eccentricity, cylinder diameters, rotor rotation velocity and various parameters of the working fluid.

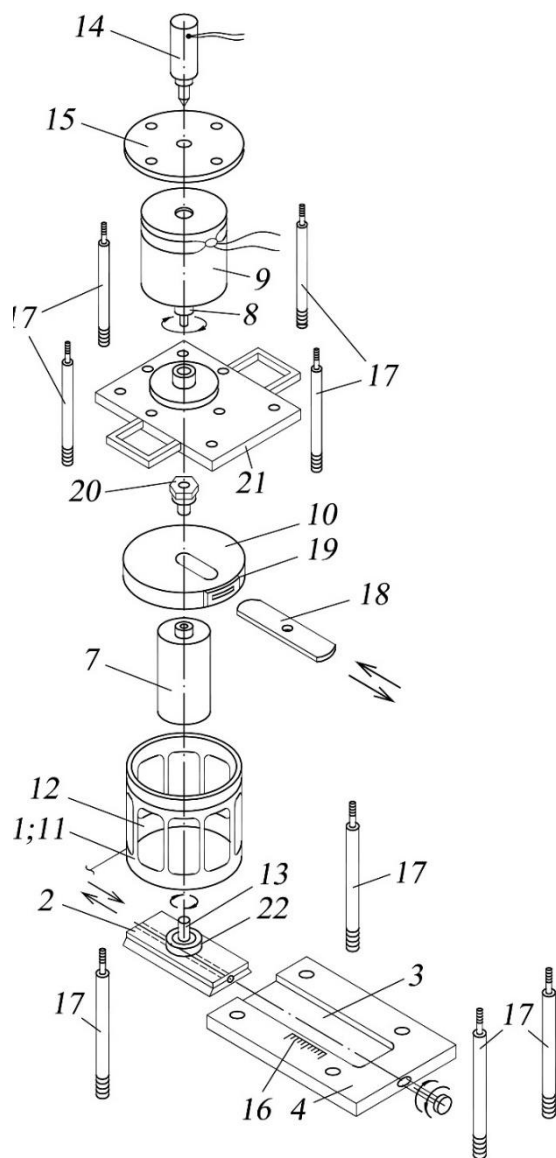


Figure 2. Scheme of the experimental stand: 1 – stator; 2 – plate; 3 – groove; 4 – base plate; 5 – threaded screw; 6 – handle; 7 – rotor; 8 – shaft; 9 – electric motor; 10 – cover; 11 – metal frame; 12 – transparent cylinder; 13 – axis; 14 – tachometer; 15, 21 – plates; 16 – scale; 17 racks; 18 – sealing plate; 19 – seals; 20 – intermediate sleeve; 22 – clips [309]

Experiments were carried out at values of the relative width of the gap  $b_e/b_k = 0.265...1.0$  (Table 1).

Selection of working fluid. Flows of water and aqueous ditalan solutions with mass concentrations  $C = 10^{-2}$  and  $8 \cdot 10^{-2}$  kg/ kg were studied. For thickening, 3% of their weight of sodium chloride (NaCl) was added to ditalan solutions and for

stabilization – 0.2% of sodium hydrogen carbonate (NaHCO<sub>3</sub>).

Table 1

The values of the relative gap width were studied

| Diameters, mm       |                      | d/D  | Eccentricity<br>e, mm | Relative gap width<br>b <sub>0</sub> /b <sub>κ</sub> |
|---------------------|----------------------|------|-----------------------|--|
| Rotor<br>diameter d | Stator<br>diameter D |      |                       |  |
| 42.1                | 142                  | 0.30 | 0                     | 1.00   |
|                     |                      |      | 12                    | 0.755  |
|                     |                      |      | 24                    | 0.51   |
|                     |                      |      | 36                    | 0.265  |

Calculation formulas.

The braking torque acting on the inner cylinder was calculated indirectly through the engine power consumption:

$$M = \frac{N \cdot 60}{2\pi \cdot n}, \quad (1)$$

where n – number of rotor revolutions.

The average tangential stresses on the rotor wall are determined by formula:

$$\tau = \frac{T}{2\pi \cdot r \cdot H}, \quad (2)$$

where T – the total friction force applied to the side surface of the rotor:

$$T = M/r,$$

where r – rotor radius;

H – rotor height.

The water flow regime is characterized by the Taylor criterion:

$$Ta = \frac{V \cdot b}{\nu} \cdot \sqrt{\frac{b}{r}}, \quad (3)$$

where V – linear rotation velocity of the rotor;

ν – kinematic viscosity of the liquid.

The friction coefficient in the gap between the rotor and the stator was determined

as:

$$C_f = \frac{G}{Re^2}, \quad (4)$$

where  $G$  – dimensionless torque on the inner cylinder in the gap between the rotor and the stator,

$$G = \frac{T}{\rho \cdot v^2 \cdot H}; \quad (4)$$

where  $\rho$  – liquid specific gravity.

Reynolds criterion determined by formula:

$$Re = \frac{\Omega \cdot r \cdot (r_o - r)}{v}. \quad (5)$$

where  $r_o$  – stator radius;

$\Omega$  – angular rotation velocity of the rotor.

The relative change in the coefficient of friction was determined as:

$$DR \% = \frac{c_{f,\omega} - c_{f,s}}{c_{f,\omega}} \times 100, \quad (6)$$

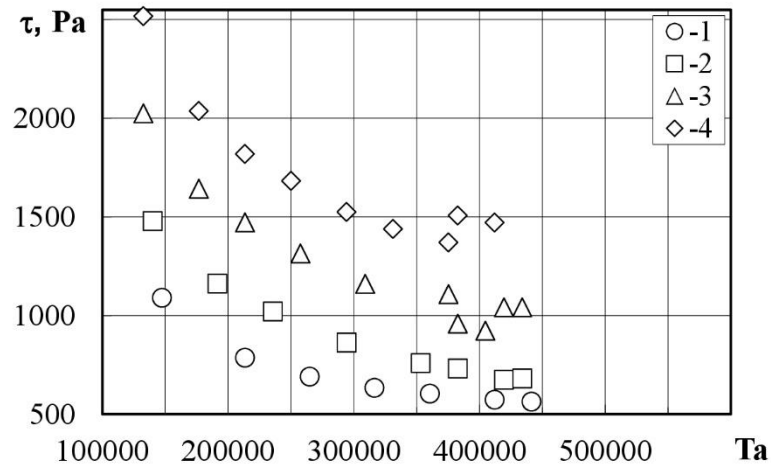
where  $c_{f,\omega}$  – coefficient of friction in the gap between the rotor and the stator during water flow;  $c_{f,s}$  – coefficient of friction in the gap between the rotor and the stator during water with ditalan additives flow.

Results and discussion. This paper presents the results of the influence of eccentricity and concentrations of aqueous ditalan solutions on the hydrodynamic resistance of the rotor. Each of the obtained points is the arithmetic mean of three repeated measurements.

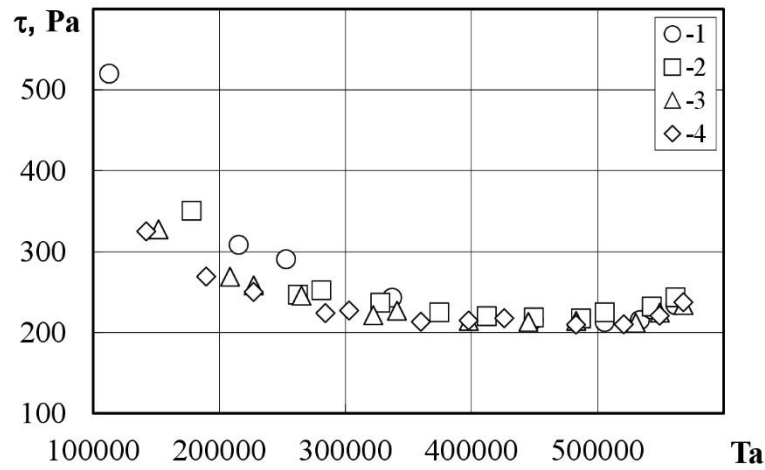
Graphic dependences of  $\tau = f(Ta)$  for the flow of aqueous ditalan solutions in the gap between cylinders for  $d/D = 0.30$  and  $b_e/b_k = 0.265; 0.51; 0.755; 1.0$  is presented in fig. 3.

For the studied range of values of the Taylor criterion  $Ta = 100000 \dots 600000$ , the average tangential stresses on the wall of the rotor, which rotated in water and in aqueous ditalan solutions (Fig. 3, b, c), decrease with an increase in the criterion  $Ta$  and with a decrease in the ratio  $b_e/b_k$ , i.e. with increasing eccentricity  $e$  (Fig. 1).

a)



b)



c)

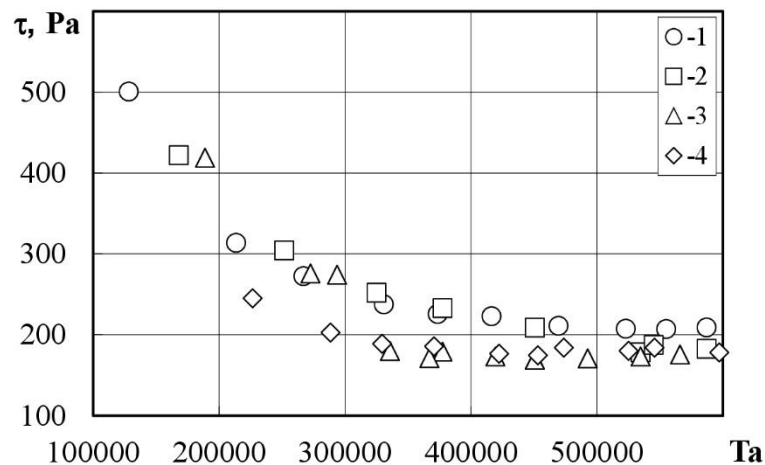
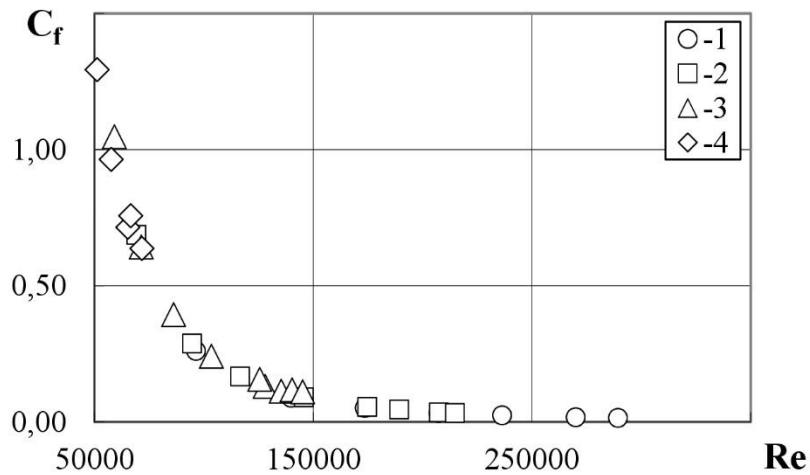
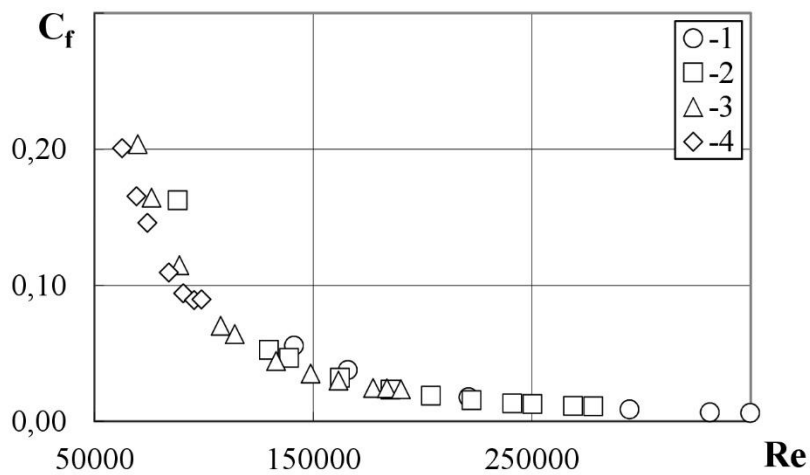


Figure 3. Dependence of tangential stresses  $\tau$  on Taylor criterion  $Ta$  and eccentricity: 0 mm (1); 12.0 mm (2); 24.0 mm (3); 36.0 mm (4) for a rotor diameter of  $d = 42.1$  mm, which rotated in water (a) and aqueous ditalan solutions with mass concentrations of 1% (b), 8% (c)

a)



b)



c)

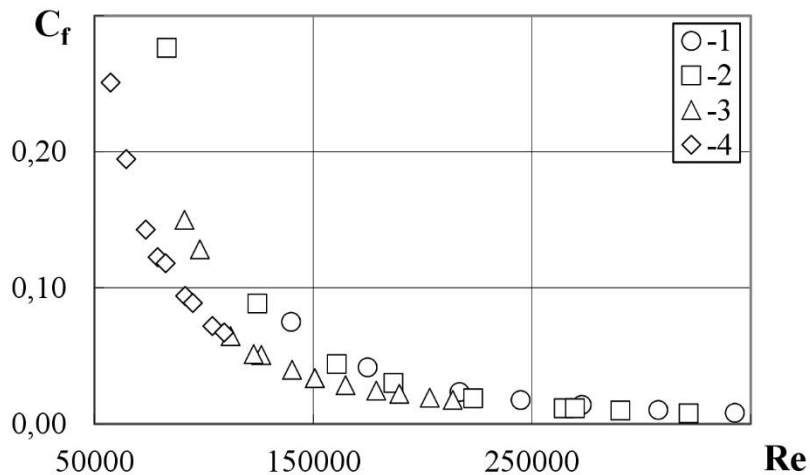


Figure 4. Dependence of the coefficient of friction  $C_f$  in the gap between the rotor and the stator on the Reynolds criterion  $Re$  and eccentricity: 0 mm (1); 12.0 mm (2); 24.0 mm (3); 36.0 mm (4) for water (a) and aqueous ditalan solutions with mass concentrations of 1% (b), 8% (c)

During water flow, the tangential stresses on the rotor wall ( $d/D = 0.30$ ) for all investigated values of  $b_e/b_k$  increase. Additions of ditalan reduced the tangential stresses on the rotor wall at the coaxial arrangement of the cylinders ( $b_e/b_k = 1$ ) for the studied aqueous ditalan solutions mass concentrations. With an eccentric arrangement of the rotor, its hydraulic resistance increased for all values of  $b_e/b_k$  (Table 2). Additions of ditalan of the investigated concentrations caused a change in the resistance of the rotor.

Table 2

The influence of an and non-coaxial rotor location on its hydraulic resistance  
at  $Ta = 400000$

| $b_e/b_k$ | Tangential stresses on the rotor wall $\tau$ , Pa, at the concentration<br>of an aqueous ditalan solution C, % |     |     |
|-----------|--|-----|-----|
|           | 0  | 1.0 | 8.0 |
| 1.0       | 570  | 220 | 215 |
| 0.265     | 1370   | 215 | 175 |

On fig. 4 presents the results of the change in the coefficient of friction for water and aqueous ditalan solutions ( $C = 1.0\%$ ,  $8.0\%$ ) at relative gap widths  $b_e/b_k = 1.0; 0.755; 0.51; 0.265$ . As the Reynolds number increases, the friction coefficient decreases for the investigated concentrations of aqueous ditalan solutions. For fixed values of the Reynolds number, a decrease in the friction coefficient of the studied solutions was obtained with a decrease in the width of the gap.

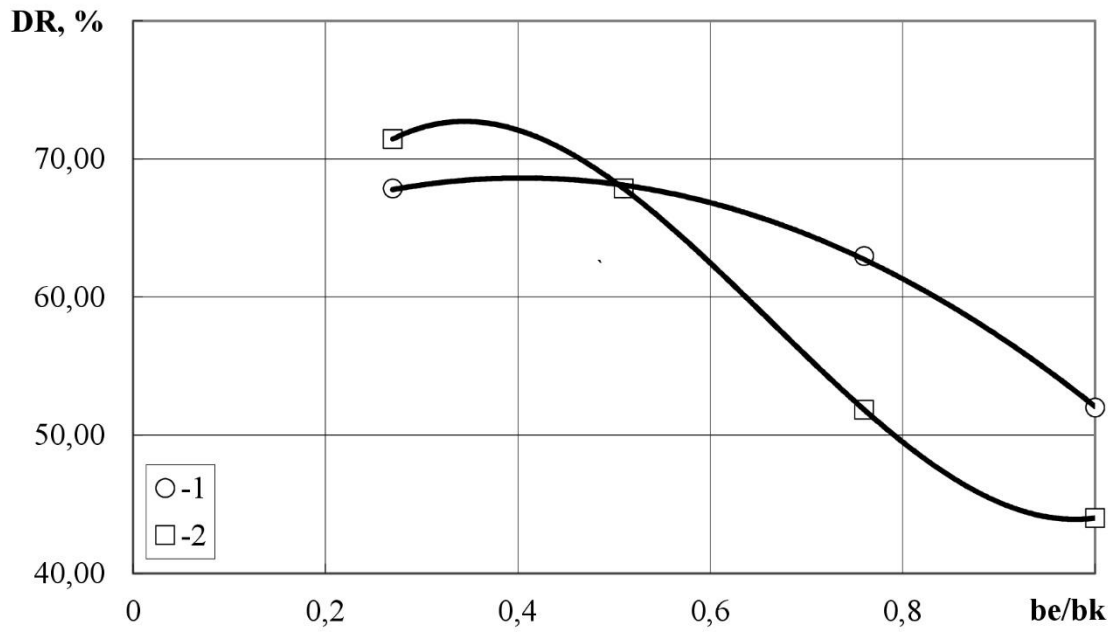
The effect of DR aqueous solutions of ditalan on the frictional resistance of the rotor at  $Re = 100000$  decreases with increasing values of  $b_e/b_k$ , starting from  $b_e/b_k = 0.51$  for studied concentrations  $C = 1.0\%$  and  $8.0\%$ , respectively (Fig. 5). In addition, decreasing the concentration from  $8.0\%$  to  $1.0\%$  weakens this effect at  $b_e/b_k = 0.51$  and more, and at  $b_e/b_k = 0.51$  and less, the effect is reversed.

At value of Reynolds number  $Re = 200000$ , the effect of DR of aqueous ditalan solutions on the frictional resistance of the rotor with a decrease in concentration from

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

8.0 to 1.0% is weakened this effect for all investigated values of  $b_e/b_k$ .

a)



b)

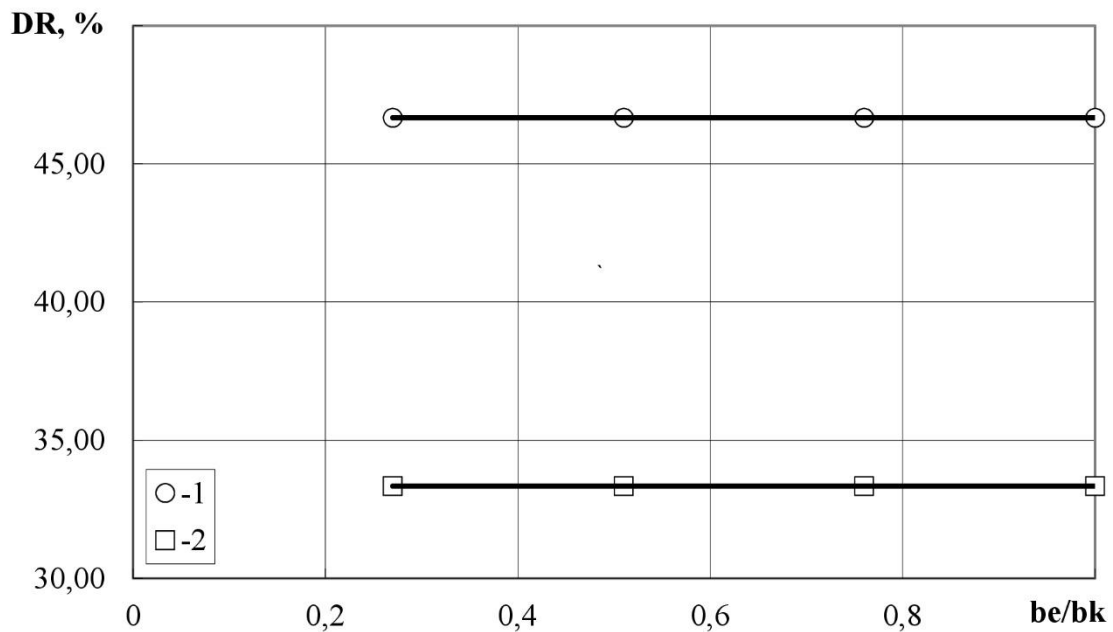


Figure 5. Dependence of the relative friction coefficient on the relative width of the gap  $b_e/b_k$  for aqueous ditalan solutions with concentrations of 1% (1) and 8% (2) at  $Re = 100000$  (a) and  $200000$  (b)



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

The effect of aqueous ditalan solutions with mass concentrations  $C = 1.0\%$  and  $8.0\%$  on the frictional resistance in the gap between the rotor and the stator at  $d/D = 0.30$  for  $b_e/b_k = 1.0; 0.755; 0.51; 0.265$  was revealed.

The obtained results confirm the possibility of adjusting the braking moment of the hydraulic brake by changing the eccentricity between the rotor and the stator, including in the presence of hydrodynamical active additives in the working fluid. The braking torque of the rotor in water and in aqueous solutions of HAA depends on their concentration and is regulated by changing the eccentricity of the rotor.

### **5.3 Теоретичне дослідження динамічної стійкості короткобазових навантажувачів у транспортному режимі**

Короткобазовий навантажувач (КБН) є універсальним транспортом, що призначений для здійснення розвантажувальних операцій та інших робіт на робочій ділянці. Завдяки відмінно продуманій конструкції навантажувач здатний працювати в замкнених умовах, що дозволяє робити цей вид транспорту незамінним у подібних ситуаціях [310]. Компонувальні схеми КБН обумовлені малими розмірами машини, необхідністю забезпечення стійкості через перекидання. Яскравим прикладом вдалого і раціонального компоновання є навантажувачі з бортовим поворотом, які складаються з двигуна, рами, гідрооб'ємної трансмісії, бортових передач, ходової частини, робочого обладнання з гідроприводом.

Незважаючи на переваги КБН через їх маневреність і широкий спектр швидкозмінного робочого обладнання, вони мають ряд недоліків. Так, наприклад, на пухких ґрунтах ці машини зі стандартними шинами буксують, вони можуть зав'язнути в піску або в ґрунті, не забезпечують «комфортної їзди» на нерівній поверхні. Однак і транспортний режим у КБН не позбавлений недоліків, оскільки через коротку базу й центр ваги, що конструктивно розташований ближче до задньої вісі, під час подолання нерівностей робочої ділянки машина втрачає стійкість (рис. 1), що знижує її ефективність і продуктивність. У зв'язку з цим, доцільно у якості критерію стійкості розглядати кут відхилення центру ваги відносно вертикалі коліс, що долають перешкоду [311].



Рисунок 1. Відрив задніх коліс під час подолання навантажувачем  
одиначної перешкоди

З відносно невеликим часовим проміжком, що пройшов з моменту створення КБН, і недостатнім обсягом виконуваних досліджень до теперішнього часу невідпрацьовані методики й рекомендації із проектування та експлуатації машин означеного типу. Також слід зазначити, що ті навантажувачі, які випускаються в Україні, створені переважно методом копіювання аналогічних машин закордонних фірм, і тому не перевершують їх за технічними показниками, але через низьку вартість набули найбільшого поширення на території України. Слід зазначити, що навантажувачі закордонних виробників володіють, як правило, більшою вантажопідйомністю, ніж КБН вітчизняного зразка (вантажопідйомність іноземних КБН вище ніж у вітчизняних аналогів на 10%). Це пов'язано із захисними пристроями, якими оснащуються іноземні навантажувачі подібного типу (Bobcat, Caterpillar, Mustang, Komatsu та ін.). Брак використання прогресивних технологій у порівнянні із закордонними аналогами і спричинив меншу продуктивність, а також збільшення загальної маси машини.

Рух КБН по пересічній місцевості характеризується багатьма специфічними особливостями. Взаємодія окремих коліс з одиничними нерівностями, розміри яких можуть становити 0,25 від радіуса ходових коліс, проявляється в нерівномірному просторовому навантаженні ходової частини машини[312]. Різка зміна вертикальних реакцій (від нуля до максимуму в кілька

разів перевищення номінальної величини) на окремих колесах призводить до різких коливань машини, а через коротку базу і центр мас, що розташовано ближче до задньої вісі це спричиняє вивішування задніх коліс і як наслідок втратою поздовжньої стійкості. Саме тому, у даній монографії за критерій поздовжньої стійкості КБН було обрано кут відхилення центру мас навантажувача відносно вертикалі, яка проходить через вісь ходових коліс.

Необхідність обліку цих та інших факторів при оцінці стійкості машин означеного класу вимагає проведення попереднього математичного моделювання процесу руху навантажувача з імітацією умов руху, наближених до реального. Наведена в роботі математична модель розроблена для двохосьового КБН. Розглядається подолання одиночної граничної перешкоди, висота якої порівнюється з половиною кліренсу навантажувача[313].

У зв'язку з недостатнім досвідом проектування і експлуатації КБН, а також невизначеністю даних про динамічну стійкість у процесі подолання одиночної перешкоди як головних факторів, що формують динамічні процеси розглянутого класу машин, необхідно враховувати наступні:

- швидкість навантажувача в транспортному режимі особливо при подоланні одиночної перешкоди відіграє важливе значення, оскільки для короткобазової машини з гідростатичною трансмісією вона може приймати будь-які значення від 0 до 13 км/год [311];

- особливості конструкції КБН з гідростатичною трансмісією припускають переміщення його центру мас у вертикальному і горизонтальному напрямках при наїзді на перешкоду. Цей фактор викликає також необхідність аналізу динамічних процесів у взаємозв'язку з висотою розташування робочого обладнання над опорною поверхнею та масою вантажу [314].

При складанні математичного опису процесу переїзду КБН через одиничну перешкоду прийнято наступні припущення [315] (рис. 2):

- опорна поверхня – асфальтобетон, при цьому поперечні зусилля на ходових колесах обмежені зчпними якостями рушіїв з опорною поверхнею;

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

- подолання колесами навантажувача перешкоди здійснюється перпендикулярно до ребра перешкоди, при цьому вплив сил на колеса в бічному напрямку відсутні (отже, розглядається плоска задача);
- деформація опорної поверхні та перешкоди не враховується;
- контакт коліс навантажувача з ребром перешкоди розглядається як точковий, реакція в точці контакту спрямована до центру колеса;
- висота перешкоди не перевищує статичний радіус колеса;
- залежність деформації шин від реакції  $R_v$  на ребрі перешкоди й від реакції  $R_y$  на плоскій опорній поверхні приймаються лінійними;
- проковзування шин на ребрі перешкоди відсутнє, тангенціальна деформація шин не враховується;
- розглядається рух навантажувача в поздовжній вертикальній площині без обліку сил, що діють у бічному напрямку й у припущенні, що обидва колеса одного моста входять у контакт із перешкодою одночасно (приймається плоска розрахункова схема руху КБН);
- пружні характеристики шин приймаються лінійними й однаковими для всіх коліс;
- жорсткість на ребрі перешкоди приймається постійною.

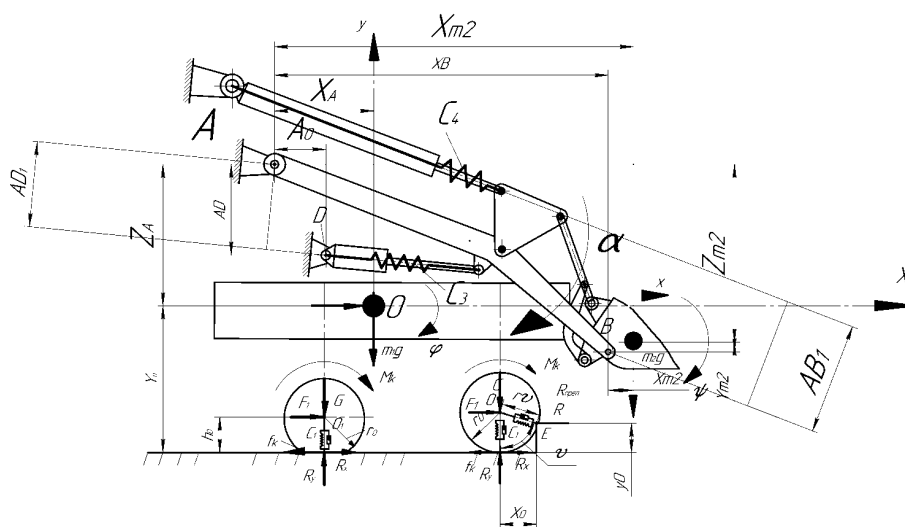


Рисунок 2. Розрахункова схема транспортного режиму КБН при початковому етапі подолання перешкоди

Структурними елементами розробленої математичної моделі є аналітичний опис переміщення навантажувача в плоскій системі сил, опис взаємодії коліс з опорною поверхнею. Параметри машини, які є необхідними для математичного опису процесу подолання КБН одиночної нерівності, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахункові параметри процесу подолання КБН одиночної нерівності

| №  | Найменування показників   | Величини |
|----|---|----------|
| 1  | Маса остова КБН $m$ , кг  | 3000     |
| 2  | Маса робочого обладнання КБН $m$ , кг   | 1100     |
| 3  | Відстань від початку координат до задньої вісі КБН $b$ , м                                      | 0,32     |
| 4  | Відстань від початку координат до передньої вісі КБН $a$ , м                                    | 0,94     |
| 5  | Відстань від центру мас остова до центру мас робочого обладнання КБН по вертикалі $y_D$ , м     | 0,25     |
| 6  | Відстань від центру мас остова до центру мас робочого обладнання КБН по горизонталі $x_D$ , м   | 0,87     |
| 7  | Відстань від опорної поверхні до центру мас навантажувача $Y_0$ , м                             | 0,8      |
| 8  | Висота перешкоди $y_0$ , м  | 0,12     |
| 9  | Відстань від точки кріплення стріли до початку координат навантажувача по вертикалі $Y_a$ , м   | 0,85     |
| 10 | Відстань від точки кріплення стріли до початку координат навантажувача по горизонталі $X_a$ , м | 0,43     |
| 11 | Вільний радіус ходових коліс $r_0$ , м  | 0,47     |

Поступальне переміщення КБН у напрямку координатних осей X і Y описується наступними диференціальними рівняннями.

Рівняння руху мають наступний вигляд.

Поступальне переміщення КБН у напрямку координатних осей X і Y описується наступними диференціальними рівняннями.

Рівняння руху мають вигляд:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q}, \quad (1)$$

Кінетична енергія КБН буде дорівнювати:

$$T = \frac{1}{2} m_1 \left[ (\dot{x} + z_A \cdot \dot{\varphi})^2 + (\dot{y} - x_A \cdot \dot{\varphi})^2 \right] + \frac{1}{2} m_2 \left[ (\dot{x} + z_A \cdot \dot{\varphi} - z_{m_2} \cdot \dot{\alpha})^2 + (\dot{y} - x_A \cdot \dot{\varphi} - x_{m_2} \cdot \dot{\alpha})^2 \right] + \frac{1}{2} m_3 \cdot \left[ (\dot{x} + Z_A \cdot \dot{\varphi} + Z_{BA} \cdot \dot{\alpha})^2 + (\dot{y} - x_A \cdot \dot{\varphi} - XB \cdot \dot{\varphi})^2 \right] + \frac{1}{2} J_{m_1} \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} J_{m_2} (\dot{\varphi} + \dot{\alpha})^2 \quad (2)$$

Похідні від кінетичної енергії по швидкості і за часом:

$$\frac{dT}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = \ddot{x} \cdot m_1 + \ddot{x} \cdot m_2 + \ddot{\varphi} \cdot m_1 \cdot Z_A + \ddot{\varphi} \cdot m_2 \cdot Z_A - \ddot{\alpha} \cdot m_2 \cdot Z_{m_2},$$

$$\frac{dT}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} = \ddot{y} \cdot m_1 + \ddot{y} \cdot m_2 - \ddot{\varphi} \cdot m_1 \cdot x_A - \ddot{\varphi} \cdot m_2 \cdot x_A - \ddot{\alpha} \cdot m_2 \cdot x_{m_2},$$

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= \ddot{\varphi} \cdot J_{m_1} + \ddot{\varphi} \cdot J_{m_2} + \ddot{\alpha} \cdot J_{m_2} - \ddot{y} \cdot x_A \cdot m_1 - \ddot{y} \cdot x_A \cdot m_2 + \ddot{x} \cdot Z_A \cdot m_1 + \\ &+ \ddot{x} \cdot Z_A \cdot m_2 + m_3 \cdot \ddot{\varphi} \cdot (Z_A)^2 + m_3 \cdot \ddot{\varphi} \cdot (x_A)^2 + XB^2 \cdot m_3 \cdot \ddot{\varphi} + (x_A)^2 \cdot m_1 \cdot \ddot{\varphi} + \\ &+ (x_A)^2 \cdot m_2 \cdot \ddot{\varphi} + (Z_A)^2 \cdot m_1 \cdot \ddot{\varphi} + (Z_A)^2 \cdot m_2 \cdot \ddot{\varphi} + m_3 \cdot Z_A \cdot \dot{x} - m_3 \cdot x_A + \dot{y} - \\ &- XB \cdot m_3 \cdot \dot{y} + 2 \cdot XB \cdot m_3 \cdot \ddot{\varphi} \cdot x_A + x_A \cdot x_{m_2} \cdot m_2 \cdot \ddot{\alpha} - Z_A \cdot Z_{m_2} \cdot m_2 \cdot \ddot{\alpha} + \\ &+ m_3 \cdot \ddot{\alpha} \cdot Z_A \cdot Z_{BA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} &= J_{m_2} \cdot \ddot{\varphi} + J_{m_2} \cdot \ddot{\alpha} - \ddot{y} \cdot x_{m_2} \cdot m_2 - \ddot{x} \cdot z_{m_2} \cdot m_2 + m_3 \cdot \ddot{\alpha} \cdot (Z_{BA})^2 + x_{m_2}^2 \cdot m_2 \cdot \ddot{\alpha} + \\ &+ (Z_{m_2})^2 \cdot m_2 \cdot \ddot{\alpha} + m_3 \cdot Z_{BA} \cdot \dot{x} + x_A \cdot x_{m_2} \cdot m_2 \cdot \ddot{\varphi} - Z_A \cdot Z_{m_2} \cdot m_2 \cdot \ddot{\varphi} + m_3 \cdot \ddot{\varphi} \cdot Z_A \cdot Z_{BA} \end{aligned}$$

Система диференціальних рівнянь була побудована відповідно до рівняння Лагранжа другого роду й виглядала наступним чином:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\left(\frac{dT}{d\dot{x}}\right) &= Q_x; \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{dT}{d\dot{y}}\right) &= Q_y; \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{dT}{d\dot{\varphi}}\right) &= Q_\varphi; \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{dT}{d\dot{\alpha}}\right) &= -\frac{d\Pi}{d\alpha}.\end{aligned}\tag{3}$$

Узагальнені сили  $Q_x$ ,  $Q_y$  і  $Q_\varphi$  були виражені через роботи на віртуальних переміщеннях.

$$Q_x = \frac{\delta A_x}{\delta x};\tag{4}$$

$$Q_y = \frac{\delta A_y}{\delta y};\tag{5}$$

$$Q_\varphi = \frac{\delta A_\varphi}{\delta \varphi};\tag{6}$$

Поступальне переміщення навантажувача в напрямку координатних осей  $X$  і  $Y$ , що проходять через центр мас навантажувача описуються наступними диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned}\ddot{x} \cdot m_1 + \ddot{x} \cdot m_2 + \ddot{\varphi} \cdot m_1 \cdot Z_A + \ddot{\varphi} \cdot m_2 \cdot Z_A - \ddot{\alpha} \cdot m_2 \cdot Z_{m2} &= R_{x1} + R_{x2} - (R_v \sin \nu) + (R_\tau \cos \nu); \\ \ddot{y} \cdot m_1 + \ddot{y} \cdot m_2 - \ddot{\varphi} \cdot m_1 \cdot x_A - \ddot{\varphi} \cdot m_2 \cdot x_A - \ddot{\alpha} \cdot m_2 \cdot x_{m2} &= -G + R_1 + R_2 + R_v \cos \nu + \\ &+ R_\tau \sin \nu;\end{aligned}$$



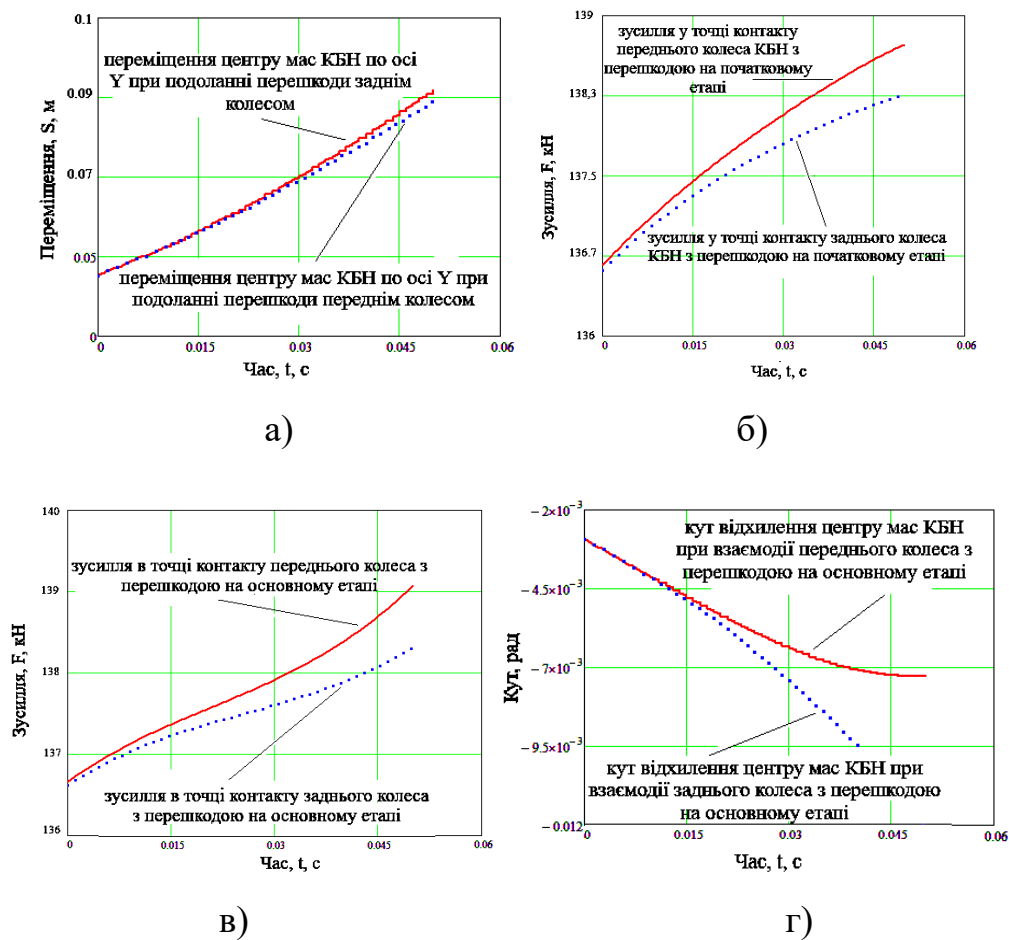
$$\begin{aligned} & \ddot{\varphi} \cdot J_{m1} + \ddot{\varphi} \cdot J_{m2} + \ddot{\alpha} \cdot J_{m2} - \ddot{y} \cdot x_A \cdot m_1 - \ddot{y} \cdot x_A \cdot m_2 + \ddot{x} \cdot Z_A \cdot m_1 + \\ & + \ddot{x} \cdot Z_A \cdot m_2 + m_3 \cdot \ddot{\varphi} \cdot (Z_A)^2 + m_3 \cdot \ddot{\varphi} \cdot (x_A)^2 + XB^2 \cdot m_3 \cdot \ddot{\varphi} + (x_A)^2 \cdot m_1 \cdot \ddot{\varphi} + \\ & + (x_A)^2 \cdot m_2 \cdot \ddot{\varphi} + (Z_A)^2 \cdot m_1 \cdot \ddot{\varphi} + (Z_A)^2 \cdot m_2 \cdot \ddot{\varphi} + m_3 \cdot Z_A \cdot \dot{x} - m_3 \cdot x_A + \dot{y} - \\ & - XB \cdot m_3 \cdot \dot{y} + 2 \cdot XB \cdot m_3 \cdot \ddot{\varphi} \cdot x_A + x_A \cdot x_{m2} \cdot m_2 \cdot \ddot{\alpha} - Z_A \cdot Z_{m2} \cdot m_2 \cdot \ddot{\alpha} + \\ & + m_3 \cdot \ddot{\alpha} \cdot Z_A \cdot Z_{BA} = -a \cdot R_1 + b \cdot R_2 + (-R_v \sin v + R_t \cos v) \cdot (Y_0 - y_0 + y) \cdot \varphi - \\ & - R_{x1} \cdot (Y_0 + y) \cdot \varphi + R_{x2} \cdot (Y_0 + y) \cdot \varphi; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & J_{m2} \cdot \ddot{\varphi} + J_{m2} \cdot \ddot{\alpha} - \ddot{y} \cdot x_{m2} \cdot m_2 - \ddot{x} \cdot z_{m2} \cdot m_2 + m_3 \cdot \ddot{\alpha} \cdot (Z_{BA})^2 + x_{m2}^2 \cdot m_2 \cdot \ddot{\alpha} + \\ & + (Z_{m2})^2 \cdot m_2 \cdot \ddot{\alpha} + m_3 \cdot Z_{BA} \cdot \dot{x} + x_A \cdot x_{m2} \cdot m_2 \cdot \ddot{\varphi} - Z_A \cdot Z_{m2} \cdot m_2 \cdot \ddot{\varphi} + m_3 \cdot \ddot{\varphi} \cdot Z_A \cdot Z_{BA} = \\ & = \alpha \cdot (AD_1)^2 \cdot C_3 \end{aligned}$$

У цих рівняннях:  $x$  і  $y$  – відповідно поточні горизонтальні й вертикальні координати центра мас навантажувача;  $\varphi$  - поточний кут нахилу поздовжньої осі КБН;  $m_1, m_2, m_3$  – маси остова, стріли та ковша відповідно;  $R_x$  і  $R_y$  – відповідно горизонтальна й вертикальна реакція в контакті і-го колеса з опорною поверхнею;  $R_v$  і  $R_t$  – відповідно радіальна та тангенціальна реакції в контакті і-го колеса з перешкодою;  $r_v$  - відстань від ребра перешкоди до осі колеса, що долає перешкоду;  $AD_1$  – відстань від осі гідроциліндра підйому стріли до точки кріплення стріли до остова навантажувача;  $Z_A$  – відстань від центра мас навантажувача до точки кріплення стріли до остова машини;  $Y_0$  – висота розташування центра мас навантажувача;  $y_0$  – висота перешкоди;  $Z_{m2}$  – відстань від точки кріплення стріли до остова навантажувача до точки кріплення ковша;  $x_0$  – відстань від центра колеса до перешкоди.

У результаті проведених досліджень розроблено математичну модель подолання одиночної перешкоди короткобазовим колісним навантажувачем з регульованою вручну гідрооб'ємною трансмісією при початковому та основному етапі подолання перешкоди (рис. 3).

На підставі аналізу рівнянь динаміки КБН встановлено закономірності та виявлено залежності конструктивних параметрів моделі навантажувача від критерію його стійкості під час подолання ним одиночної перешкоди.



а) залежність переміщення центру мас КБН від часу передніми та задніми колесами по осі Y; б) залежність зусилля від часу у точці контакту передніх та задніх коліс КБН з перешкодою на початковому етапі; в) залежність зусилля від часу у точці контакту передніх та задніх коліс КБН з перешкодою на основному етапі; г) кут відхилення центру мас КБН при взаємодії передніх та задніх коліс з перешкодою на основному етапі

Рисунок 3. Результати взаємодії переднього моста навантажувача з перешкодою в порівнянні із взаємодією задніх коліс

Математична модель дозволяє оцінити величини і характер зміни вертикальних реакцій на колесах і сил, що виникають при подоланні навантажувачем одиничної нерівності. Ці параметри використовуються для оцінки зчпних можливостей окремих коліс і величин, підведених до них крутний моментів.

## 5.4 Вплив армування полімерного заповнювача на динаміку тришарових оболонкових структур

Конструкторсько-технологічні рішення сучасних машин, механізмів, будівельних і інших конструкцій часто використовують елементи і деталі шаруватих оболонок. Це зменшує металоємність і вагу конструкцій та дозволяє, завдяки використанню підвищеної стійкості оболонок до динамічних впливів, забезпечувати надійність конструкцій та гарантувати їх довговічність. Тому особливе значення має визначення цих факторів і оцінка ступеню їх впливу на динаміку шаруватих структур.

В шаруватих оболонках одним із таких факторів може бути армування їх полімерного заповнювача металевими ребрами жорсткості. Щоб визначити характер і значимість впливу цього фактора досліджується динаміка двох конструкцій тришарових структур [316,317]: циліндричної оболонки нормального еліптичного перетину (рис. 1) і півсферичної (рис. 2).

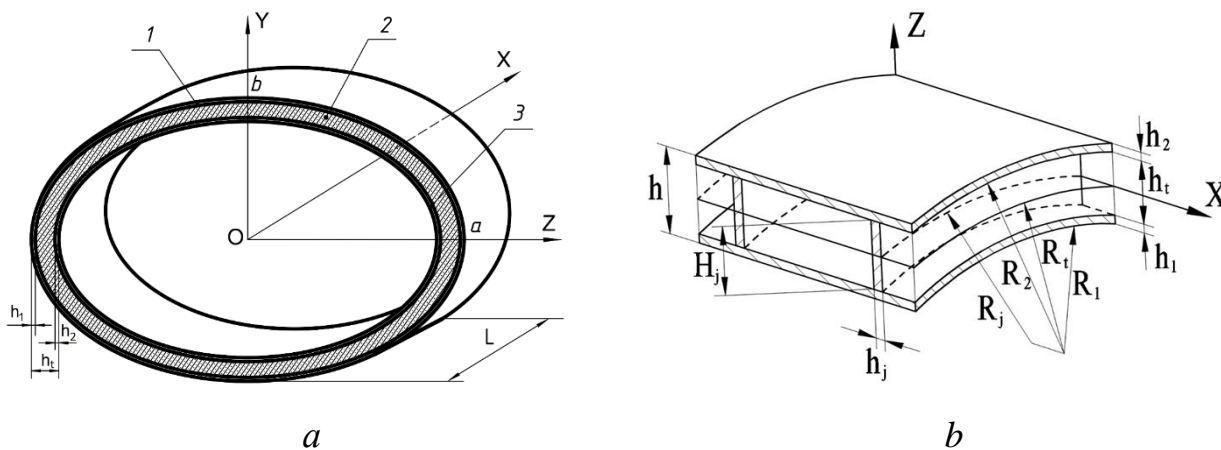


Рисунок 1. Конструкція тришарової циліндричної оболонкової структури

*a* – без армуючих ребер; *b* – з армуючими ребрами.

1 – внутрішній шар; 2 – полімерний заповнювач; 3 – зовнішній шар;

4 – армуючі ребра

Несучі шари (внутрішні і зовнішні) обох структур  $h_1 = h_2 = 0,001$  м і виготовлені із матеріалу з однаковими фізико-механічними властивостями. Модуль пружності матеріалу несучих шарів та армуючих ребер заповнювача

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

$E_1 = E_2 = 7 \cdot 10^{10}$  Па, його щільність  $\rho_1 = \rho_2 = 2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт Пуассона  $\mu_1 = \mu_3 = 0,3$ , щільність заповнювача  $\rho_t = 25$  кг/м<sup>3</sup>. Загальна товщина стінки циліндричної структури становить  $h = 0,010$  м, а сферичної –  $h = 0,012$  м. Співвідношення модулів пружності матеріалу несучих шарів і полімерного заповнювача  $E_t$  у циліндричній структурі  $E_1 / E_t = 500$ , а у сферичній  $E_1 / E_t = 3,5 \cdot 10^3$ .

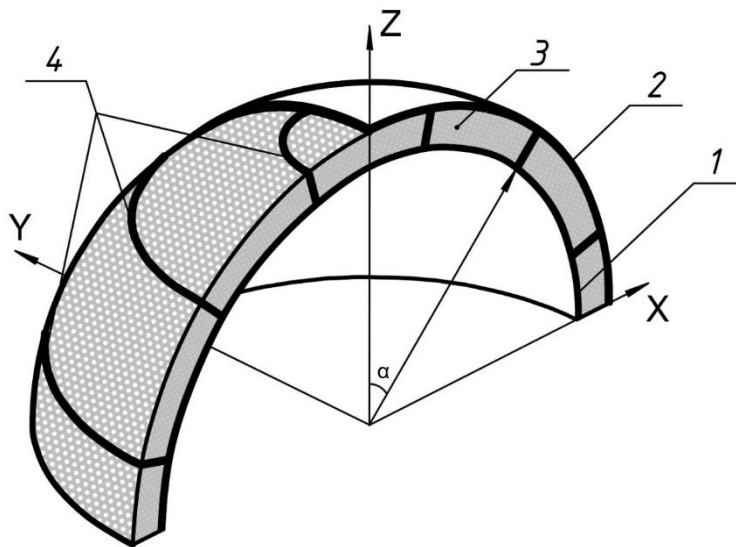


Рисунок 2. Конструкція тришарової півсферичної оболонкової структури:

1 – внутрішній шар; 2 – зовнішній шар; 3 – полімерний заповнювач; 4 – армуючі ребра

Інші геометричні параметри для циліндричної структури:

$$L = 0,40 \text{ м}, \quad \frac{L}{h_1} = 0,4; \quad \frac{b}{h_1} = 0,1, \quad \frac{a}{b} = 1,10; \quad F_j = H_j \cdot h_j = 6,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2,$$

для сферичної:

$$R_t = 0,3 \text{ м}; \quad h_j = 10h_1 \text{ м}, \quad F_j = H_j \cdot h_j = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Армуючі ребра (паралелі) знаходились в точках циліндричної структури:

$$x_j = [16 + 17(k-1)]\Delta x, \quad k = \overline{1, 5}, \quad \Delta x = \frac{L}{100}, \quad \text{де } k - \text{кількість ребер прийнята}$$

в розрахунках.

Для сферичної структури ребра розташовувались згідно:

$$\alpha_k = [41 + 40(k-1)]\Delta\alpha_1, \quad k = \overline{1, 3}, \quad \Delta\alpha_1 = (\pi/2)/160$$

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Динамічна поведінка обох структур оцінювалася величинами нормальних прогинів серединних поверхонь несучих шарів та їх нормальними напруженнями.

Розподіл імпульсного навантаження  $P(t)$  здійснювався, згідно приведеному на рис. 3 і мав часовий інтервал  $0 \leq t \leq 10T$ :

$$P(t) = A * \sin \frac{\pi}{T} [\eta(t) - \eta(t - T)], \quad (1)$$

де:

$\eta(t)$  – функція Хевісайда;

$A$  – амплітуда імпульсного навантаження;

$T$  – тривалість часу навантаження;  $t$  – часовий інтервал.

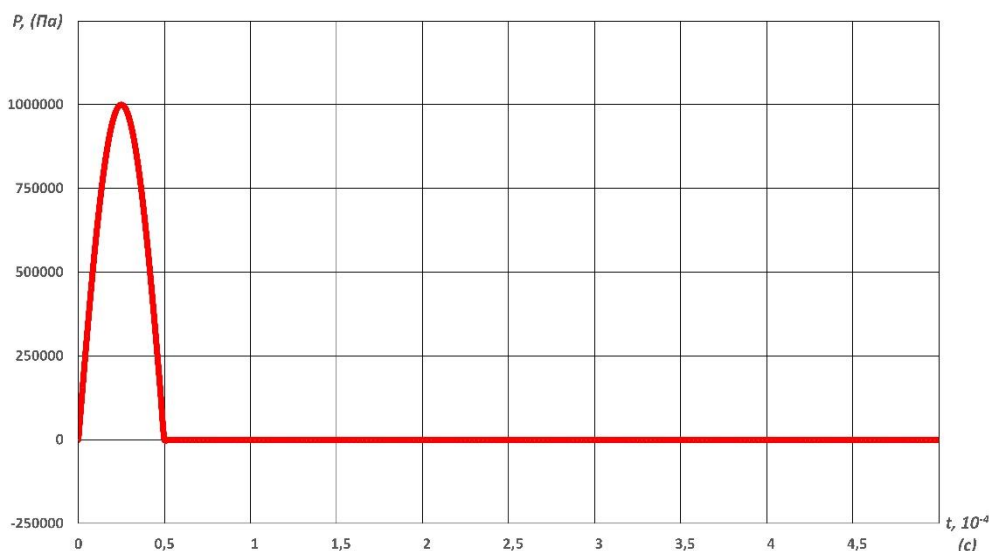


Рисунок 3. Розподіл імпульсного навантаження  $P(t)$

Параметри навантаження приймалися відповідно:  $A = 10^6$  Па;  $T = 50 * 10^{-6}$  с.

Покладається, що краї оболонок жорстко затиснені:

$$U_1 = U_2 = U_3 = \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = 0.$$

Як і в інших дослідженнях тришарових оболонкових структур [318-322] величини прогинів і напружень визначалися скінченно-елементним методом і здійснювались у програмно-розрахунковому комплексі *Fimap with NX Nastran* алгоритмом прямого перехідного динамічного процесу.

В загальній постановці скінченно-елементним метод передбачає визначення області і вектора переміщень пружної системи характеризуючогося мінімізацією її потенційної енергії, а після її визначення – розраховуються тензори переміщень і напружень даної системи [323]. І якщо повна потенційна енергія системи має вид:

$$\Pi = E - W, \quad (2)$$

де:

$E$  – потенційна енергія деформацій, а  $W$  – потенційна енергія зовнішніх навантажень, то після розбивки цільної області на окремі елементи потенційна енергія системи змінюється відповідно:

$$\Pi = \sum_{e=1}^E (E^{(e)} - W^{(e)}) = \sum_{e=1}^E \pi^{(e)} \quad (3)$$

Глобальна матриця жорсткості  $[K]$  і глобальний вектор-стовпець  $\{F\}$  в матричному рівнянні:

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (4)$$

відповідають співвідношенням:

$$[K] = \sum_{e=1}^E [k^{(e)}], \quad \{F\} = -\sum_{e=1}^E \{f^{(e)}\} \quad (5)$$

Мінімізація повної потенційної енергії системи, в результаті впливу силових, теплових або інших факторів забезпечує вирішення задачі.

Скінченно-елементний метод хоч і є досить універсальним і ефективним, але його використання потребує професійних навичок, а в окремих випадках, навіть інтуїтивного відчуття ситуації. При визначенні даним методом величин нормальних прогинів і напружень створені скінченно-елементні моделі (рис. 4) врахували конструктивні особливості оболонкових структур. У скінченно - елементних моделях використовувався тривимірний об'ємний скінченний елемент типу *Solid*, який по ступеню увігнутості, звуженню і закривленню, внутрішнім кутам та інших показниках відповідав вимогам забезпечення якості скінченно - елементної сітки [324]. Скінченно-елементна модель тришарової циліндричної оболонки налічувала 120000 скінченних елементів і 141400 вузлів.

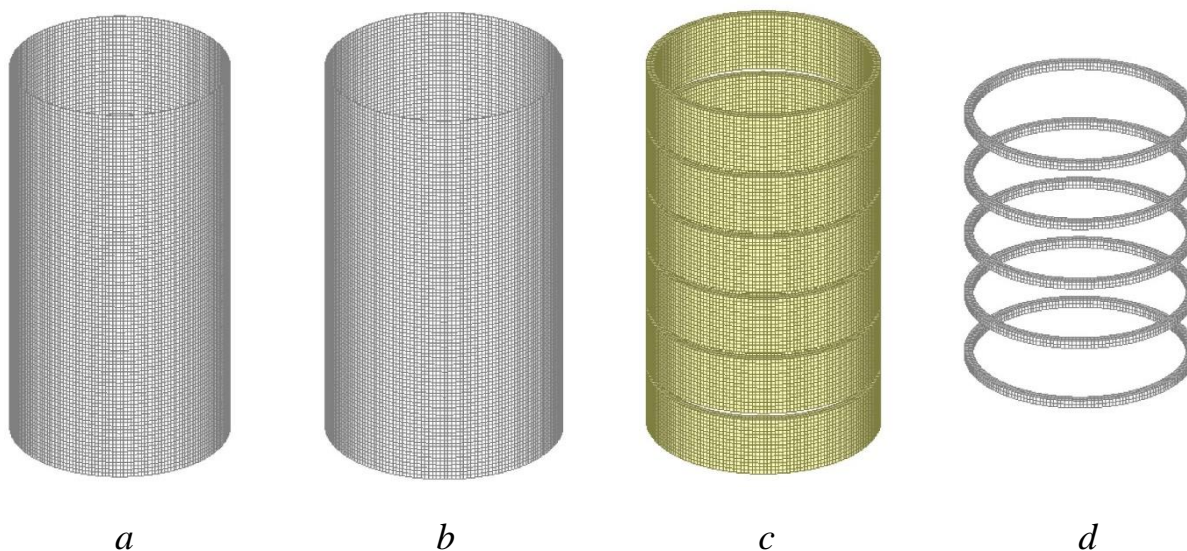


Рисунок 4. Скінченно-елементна модель тришарової циліндричної оболонки  
нормального еліптичного перетину:

*a* – обшивка несуча внутрішня; *b* – теж саме зовнішня; *c* – полімерний заповнювач;  
*d* – армуючі ребра

При визначенні впливу армування полімерного заповнювача на динаміку цієї структури досліджувались варіанти включаючи наявність і відсутність армування полімерного заповнювача структури металевими ребрами. При цьому співвідношення модулів пружності матеріалу несучих шарів і заповнювача складало  $E_1 / E_t = 500$ . В обох випадках прогини і напруження в серединних поверхнях несучих шарів розраховувались в перетині  $S_1$  в області:  $D = \{0 \leq S_1 \leq L\}$ .

Отримані результати (рис. 5а, 6а) показують, що нормальні прогини обох несучих шарів мають практично однакові величини, а їх максимальні значення досягаються: у першому випадку при  $t=8,65T$ , а в другому – при  $t=8,7T$ . Максимальні прогини указаних шарів при відсутності армування заповнювача практично на 35% перевищують їх величину при його наявності.

Подібний характер впливу армування показують і зміни величин нормальних напружень серединних поверхонь несучих шарів структур (рис. 5б і рис. 6б).

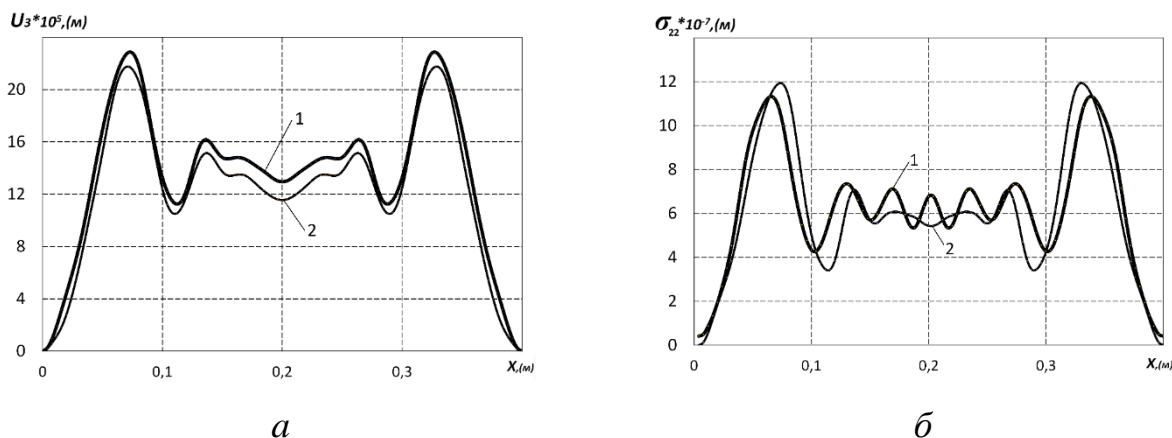


Рисунок 5. Максимальні величини нормальних прогинів (а) і напружень (б) несучих шарів циліндричної тришарової структури без армування заповнювача (перетин  $S_1$ ):

*1 – шар внутрішній; 2 – теж саме зовнішній*

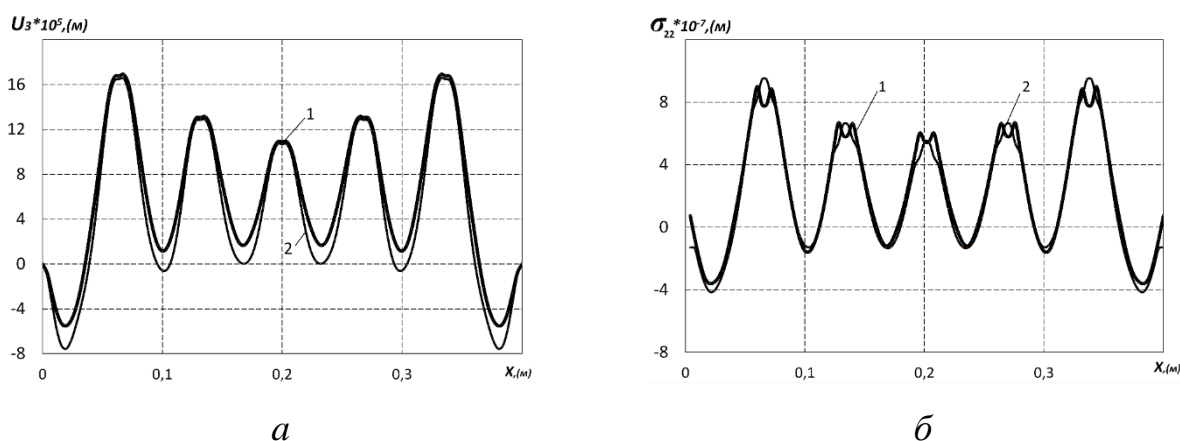


Рисунок 6. Максимальні величини нормальних прогинів (а) і напружень (б) несучих шарів циліндричної тришарової структури з армуванням заповнювача (перетин  $S_1$ ):

*1 – шар внутрішній; 2 – теж саме зовнішній*

Розглядався також і варіант таких циліндричних структур з ребрами без заповнення полімерним матеріалом. В цьому випадку значні прогини відбуваються у внутрішньому шарі структури і практично відсутні у зовнішньому. В даній роботі ці дані не наводяться.

Таким чином, судячи по отриманих результатах, армування полімерного заповнювача, значно впливає на динаміку тришарових циліндричних оболонок.

Де що по іншому досліджувався вплив цього фактора на динаміку півсферичної шаруватої структури. Її скінченно-елементна модель ( рис. 7) в структурі з полімерним заповнювачем налічувала 92700 тривимірних скінченних елементів і 123604



вузли. А модель структури без заповнювача налічувала 63600 таких елементів і 123604 вузли. В обох варіантах скінченно-елементних моделей внутрішній та зовнішній несучі шари налічували 30900 елементів. Кількість елементів легкого заповнювача дорівнювала 29100, а армуючих ребер – 1800.

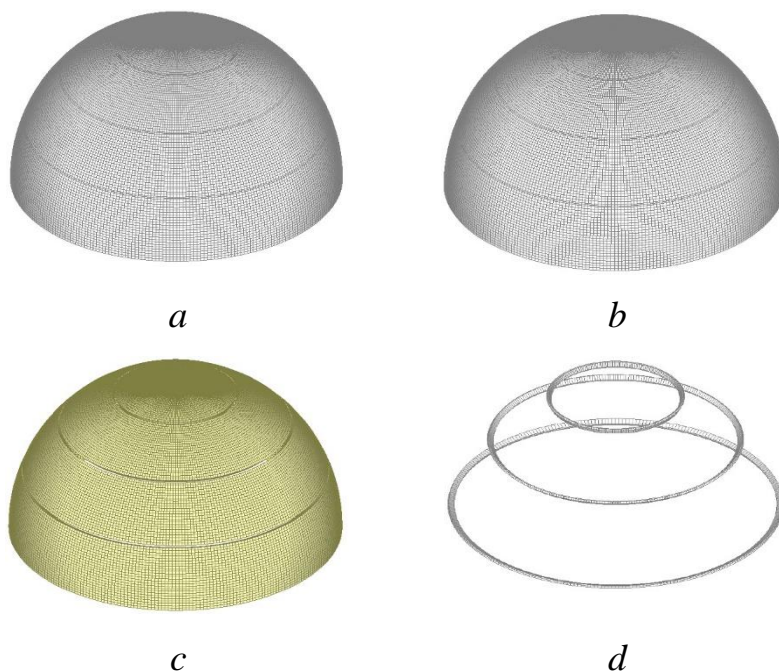


Рисунок 7. Скінченно-елементна модель тришарової півсферичної оболонки:  
*a* – обшивка несуча внутрішня; *b* – теж саме зовнішня; *c* – полімерний заповнювач;  
*d* – армуючі ребра

І як відмічено раніше, при створенні скінченно-елементної моделі використався об'ємний скінченний елемент типу *Solid* (рис. 8). Якість таких елементів у моделі відповідала вимогам забезпечення якості скінченно - елементної сітки програмно-розрахункового комплексу *Fimap with NX Nastran* [324].

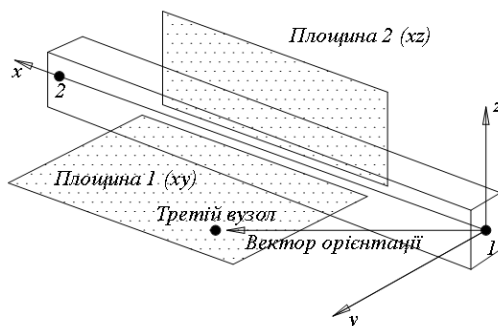


Рисунок 8. Скінченний елемент типу *Solid*

Визначені величини нормальних прогинів і нормальних напружень серединних поверхонь несучих шарів наведені на рис. 9 і 10. Як і в попередньому випадку армування структури значно вплинуло на величини прогинів і напружень цих шарів. Але на відміну від попередньої структури, прогини і

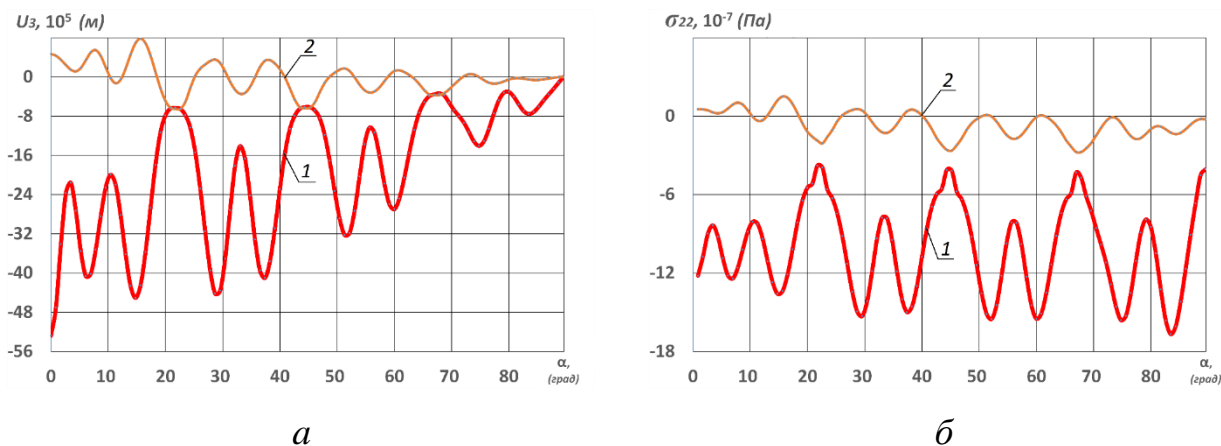


Рисунок 9. Максимальні величини нормальних прогинів (а) і напружень (б) несучих шарів півсферичної тришарової структури без полімерного заповнювача:

1– шар внутрішній; 2– теж саме зовнішній

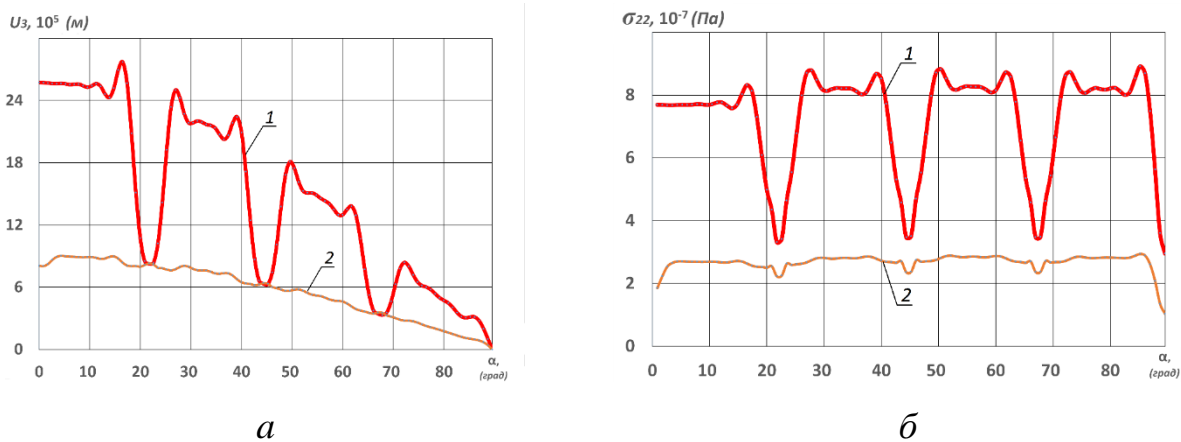


Рисунок 10. Максимальні величини нормальних прогинів (а) і напружень (б) несучих шарів півсферичної тришарової структури із армованим полімерним заповнювачем  $E_1/E_t = 3,5 \cdot 10^3$ :

1– шар внутрішній; 2 – теж саме зовнішній

напруження обох несучих шарів півсферичної структури значно відрізняються між собою. Так максимальна величина прогину внутрішнього шару півсферичної структури без полімерного заповнювача перевищує його величину в аналогічній структурі із полімерним заповнювачем більш ніж на 100%, а прогини в її зовнішньому шарі в обох випадках виявились практично однаковими. Відрізняються також і нормальні напруження обох несучих шарів в серединних

поверхнях структури. Максимальні значення цього показника у внутрішньому шарі, при відсутності полімерного заповнювача, перевищує його величину в структурі із заповнювачем майже на 70%.

Отримані результати дозволяють констатувати, що армування полімерного заповнювача півсферичної, як і циліндричної структури, також значно впливає на її динаміку. А більш значні абсолютні величини прогинів її несучих шарів можуть бути результатом додаткового впливу на динаміку півсферичної структури її конструкційних особливостей.

Армування полімерного заповнювача тришарових оболонкових структур металевими ребрами значно впливає на їх динамічну поведінку. Ця операція збільшує жорсткість конструкції, зменшує величини нормальних прогинів. Особливо значення має врахування цього фактора для структур працюючих при нестационарних динамічних навантаженнях.

## 5.5 Енергозбережне устаткування для діагностики гідропривода

*Виробництво енергії і її економія в сучасній техніці. Загальні напрями економії енергії.* Розвиток напрямку економії енергії в ЗТМ спільно із захистом навколишнього середовища у всьому світі відстає від темпів прогресу у ряді інших галузей виробництва машин, наприклад в автобудуванні, локомотивобудуванні, суднобудуванні, авіації [325, 326, 331].

У зв'язку з цим доцільно розглянути спочатку окремі досягнення в споріднених областях науки і техніки для того, щоб усвідомити, в якому напрямі доцільно найближчим часом рухатися з метою економії енергії в підйомно-транспортних, будівельних і дорожніх машинах. До недавнього часу людство використовує багато джерел енергії. До них відноситься: енергія вітру, припливу і відливу, тепла енергія сонця, геотермальна енергія тепла Землі, гідроенергія води, яка рухається, ядерна енергія і ін.

Природа обмежує вибір джерел енергії визначеним довшола непоновлюваних і поновлюваних видів енергії. До непоновлюваних джерел енергії відносяться: хімічна енергія копалин і інших палив, термоядерна і ядерна енергія, а також внутрішня теплота Землі.

До основних поновлюваних джерел енергії відносяться: енергія сонячного випромінювання, яке досягає поверхні Землі, енергія вітру, гідроенергія, енергія морських приливів і тому подібне.

Енергія більшості джерел може бути отримана у формі теплоти (виняток становлять енергія вітру, гідроенергія і енергія приливів). Для практичного використання необхідні перетворювачі енергії, в яких первинна енергія перетвориться на зручну для використання форму: механічну, електричну, ін.

Основними способами звільнення енергії, закладеної в речовині, є:

- зміна електронних зв'язків атомів в процесі хімічних реакцій;
- зміна зв'язку між нуклонами важких ядер при ядерних реакціях розподілу з'єднання або легких ядер при ядерних реакціях синтезу;

- анігіляція речовини, тобто повне перетворення даної кількості речовини в полі (наприклад, при анігіляції електрона і позитрона утворюється фотон).

Перші два способи найбільш вивчено і знаходять найбільш широке застосування в різних джерелах і первинних перетворювачах енергії. Найбільш зручними для використання формами енергії є теплова, механічна робота і, особливо, електрична енергія, що легко можна передавати на великі відстані з мінімальними втратами. На сьогодні можливі наступні способи виробництва енергії (рис. 1.1).

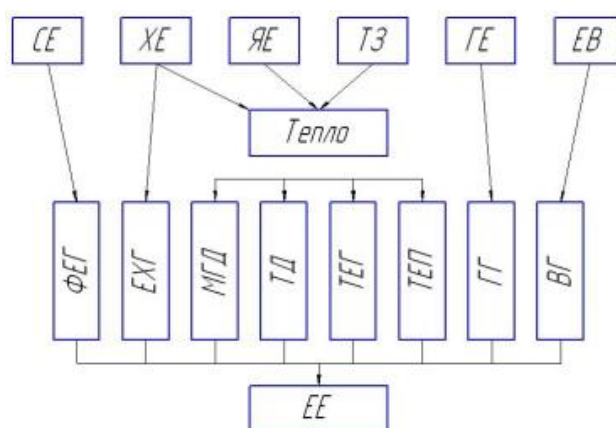


Рисунок 1.1. Основні джерела енергії

Порівняння перетворювачів (табл. 1.1) зазвичай здійснюється рядом показників, найбільш істотними з яких є: потужність, кВт, масогабаритні показники, кг/кВт-год; питома вартість, грн/кВт-год; ресурс, р.

Типи первинних перетворювачів енергії: ДЕУ — дизельні енергетичні установки; ГТУ — газотурбінні установки; РІГ — радіоізотопні термоелектричні генератори; ЕХГ — електрохімічні генератори; ЕУ — ядерні енергетичні установки; ТЕГ — термоелектричні генератори; ТЕП — термоемісійні перетворювачі.

Таблиця 1.1

Основні показники перетворювачів енергії

| Показник<br>Тип                           | ДЕУ                     | ГТУ              | РІГ                                      | ЕХГ        | ЯЕУ                  |                      |
|---|-------------------------|------------------|--|------------|----------------------|----------------------|
|   |                         |                  |  |            | ТЕГ                  | ТЕП                  |
| $N_e, \text{кВт}$                         | $5 \dots 30 \cdot 10^5$ | $100 \dots 10^5$ | 0,06                                     | 10         | 5                    | $5 \cdot 10^3$       |
| $\eta, \%$                                | 40...45                 | 20...30          | 5  | 50...70    | 8                    | 12                   |
| $\tau_{\text{зоп}}, \text{с}$             | 5...15                  | 15...30          | 0,2                                      | 3...5      | 48...72 год.         | 48...72 год.         |
| $g_b, \text{кг}^* \text{кВт}/\text{год.}$ | 0,19...0,27             | 0,3...0,5        | $0,6 \cdot 10^7 \dots$<br>$1 \cdot 10^5$ | 0,4...0,45 | $0,55 \cdot 10^{-6}$ | $0,35 \cdot 10^{-6}$ |
| $\tau_{\text{роб}}, \text{ч}$             | 240                     | 240              | 90000                                    |            | 90000                | 1000                 |
| Ресурс, г                                 | 10000...<br>80000       | 5000             | 90000                                    | 5000       | 90000                | 1000                 |
| Питома вартість,<br>грн/кВт*год.          | 0,05...<br>0,09         | 0,05...<br>0,08  | 25                                       | 2          | 50                   | 800                  |

Найбільш досконалими з термодинамічної точки зору поза сумнівом є електрохімічні генератори (ЕХГ — рис. 1.2). У теплових двигунах різних типів ККД здійснення робочого циклу не може бути принципово вище за ККД циклу, тоді як ККД електрохімічного генератора (ЕХГ) за постійного тиску і температури теоретично наближається до 100%, а на перших створених в СРСР і США воднево-кисневих установках він склав 70...80 %.

ЕХГ — це пристрої, в яких енергія хімічної реакції безпосередньо перетворюється на електричну, проходять проміжну стадію перетворення на теплоту (рис. 1.2).

У паливному елементі ЕХГ до електродів безупинно підводиться пальне і окислювач. При цьому на одному з електродів відбувається електрохімічне окисає пальне, а на іншому — відновлення окислювача.

За рахунок надлишку електронів на паливному електроді і їх недоліку на іншому електроді окислювача виникає різниця потенціалів, а при підключенні зовнішнього навантаження Гн забезпечується їх напрямлено рух в зовнішньому

ланцюзі і з'єднання іонів палива і окислювача в електроліті.

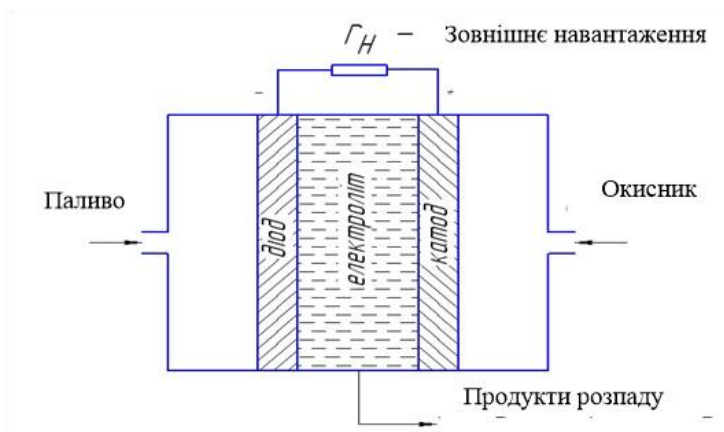


Рис. 1.2. Електрохімічний генератор.

Електричні генератори працюють безшумно при низькій температурі навколишнього середовища, без шкідливих виділень інших специфічних умовах експлуатації, проте для їх широкого впровадження потрібно буде розв'язати ряд науково-технічних проблем і, в першу чергу, понизити їх вартість, підвищити ресурс роботи, організувати ефективне отримання і збереження пального і окислювача але ін.

Перший елемент з безупинною подачею водню і кисню був описаний Грове в 1839 р. Через 3 роки він створив батарею з подібних елементів, але потужність її була незначною і не мала практичного значення. У 80-х рр. ХІХ ст. декілька конструкцій воднево-кисневих елементів запропонував П. Н. Яблочков. Але всі ці роботи не мали продовження, тому що початок ХХ ст. був періодом бурхливого розвитку ДВЗ. До інтенсивних пошуків в області ЕХГ людство повернулося лише після другої світової війни, коли для нових галузей техніки, зокрема космічної, потрібні були автономні джерела струму з характеристиками, які перевершують характеристики всіх існуючих джерел струму.

Зараз з різних країн поступають повідомлення про успішне застосування ЕХГ на різних транспортних машинах. Так, в Лейпцігу (Німеччина) міськими водними шляхами почав курсувати річковий трамвай на паливних елементах, в

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

яких водень окислюється киснем повітря на мембрані з каталізатором, даючи електрострум, який поступає на електродвигун, який обертає гвинт. Водень на судні, знаходився у вигляді порошкоподібних гідридів рідкісноземельних металів. Два контейнери, які вміщають по 27 кубометрів водню, що менш вибухонебезпечний, чим звичайний автомобільний бензобак. Вихлопи, які поступають в атмосферу, - чиста водяна пара.

Німецька автомобільна фірма «Даймлер — Бенц» в 1996 р. представила прототип автомобіля на паливних елементах. Такий пристрій складається з двох електродів, розділених мембраною. Паливо для цього автомобіля — метиловий спирт шляхом нагрівання розщеплюється на водень і вуглекислий газ, який викидається в атмосферу; можна було б використовувати і просто водень, але його набагато складніше транспортувати.

На аноді водень віддає електрони, які йдуть проводами в електродвигуни і обертають колеса. Позбавлені електронів ядра атомів водню (протони) проходять через мембрану з каталізатором (платина, рутеній) і з'єднуються з киснем повітря, утворюючи пари води. Ніяких шкідливих для навколишнього середовища викидів не немає. Подібні розробки ведуть також ще декілька фірм — «Форд», «Дженерал Моторс», «Вольво», «Рено», «Тойота», ін. Німецькі інженери розглядають подібні паливні елементи як мікрочіпи майбутньої енергетики і техніки перевезень в Германії.

Сьогоднішній стан розвитку паливних елементів нагадує стрибкоподібний розвиток мікрочіпів у свій час. Зокрема, поставлено завдання зниження викидів в атмосферу CO<sub>2</sub> в Германії на 25-..30% враховуватиметься з використанням паливних елементів. Дослідники стверджують, що в найближчих 10... 15 років у ряді міст миру (Мехіко, Сан - Пауло, Банкок, Джакарта, Шанхай) ситуація з викидами в атмосферу може стати катастрофічною. Можуть бути розглянуті і інші джерела акумуляції енергії.

На автомобільному салоні «Детройт» був представлений найоригінальніший і екологічно чистіший концепт-кар GM AUTO попу. У платформі, товщина якої всього 150 мм, розташовані всі елементи шасі: паливні



елементи і ємкості для водню, електронні системи, акумулятори, електромотори на кожне з коліс. На вихлопі автомобіля замість  $3$  і  $NO$  — водяна пара. На автомобільному салоні «Париж – ЕХРО 2020 » фірмою GM був представлений новий автомобіль «Hy-wire».

У зверхплоскій платформі - скейтборді розміщені батареї паливних елементів, генератор і розставлені по кутах моторні колеса. Ніяких механічних зв'язків між органами управління і агрегатами не немає, їх замінила єдина шина «x-wire». Запас ходу легкового автомобіля спорядженою масою 1900 кг, — 120 км., максимальна швидкість, 160 км/год. За планами Дженерал Моторс серійні автомобілі на паливних елементах з'являться на дорогах найближчими роками.

*Альтернативні шляхи акумуляції енергії.* На сучасному етапі інженери багатьох країн прагнуть створити ряд нових (чи докладно забутих старих) систем акумуляції енергії. До них можна віднести:

- використання маховиків;
- використання стислого повітря;
- використання систем об'ємного регульованого гідроприводу;
- використання запасеної в маховику енергії.

Слід сказати, що ця ідея не нова і десятки років тому використовувалася в так званих гідровозах в шахтах, небезпечних через газ і пил. Зараз технічні рішення розробляються з урахуванням сучасних досягнень в різних галузях техніки. У різних країнах світу ведуться роботи із створення і дослідження маховиків як акумуляторів енергії на основі нових технічних досягнень. Зокрема, в Германії в науково-дослідному центрі Карлсруе досліджуються маховики, які працюють на надпровідних магнітних подушках. Вони відрізняються самою стабілізацією і можуть функціонувати без урегулювання. Максимальне число оборотів — 60000 об/мин. Втрати на тертя вдалося звести до мінімуму: коефіцієнт тертя ( $f = 10^{-6}$ ). Надалі передбачено використовувати маховики як акумулятори енергії і застосовувати в наступних варіантах стаціонарного режиму:

- проміжна акумуляція енергії у поєднанні з новими енерговиробними системами, такими як вітрові електростанції;

- у децентралізованому електропостачанні як пристрій, який стабілізує (підтримує) незмінну частоту живильної мережі під час пікових навантажень у поєднанні з міні блоком електростанції.

У мобільному режимі:

- регенований акумулятор енергії в період гальмування для масових транспортних засобів, міського рейкового транспорту і автобусів.

При цьому бачаться такі переваги в порівнянні із звичайними акумуляторами:

- щонайменше в 100 разів збільшується термін служби;
- мінімальні втрати при тривалому часі акумуляції;
- висока потужність віддачі при короткочасному нагромадженні енергії;

Зараз вчені схиляються до виводу, що подальший прогрес розвитку електричних батарей залишається обмеженим і мають намір досягти помітного прогресу за допомогою маховиків, зокрема в автобудуванні. Проте в лютому — березні в 2011 р. в Женевському автосалоні демонструвався міні-вен концепт-кар, який працює від спеціальних акумуляторів. Він розвиває потужність до 600 к.с. і здатний після 1 години заряджання проїхати близько 300 км.

Якби вдалося довести втрати на тертя в маховиках до «0», то мрія механіків про кінетичну батарею стала б реальністю.

Американська система AFS була представлена в Лос-Анжеліс першим дослідним зразком автомобіля (Chrysler New Yorker), який має 15 маховиків, які повинні були розвивати фантастичну швидкість. В процесі заряджання протягом 6 години при нормальному побутовому струмі маховик прискорювався до 2 млн. об/хв.

Це і стало можливим в результаті появи нових ідей і матеріалів. При цьому застосовуються нові композитні матеріали — волокна з Kelvar-Karbon. Маховики обертаються на магнітних подушках (надпровідних підшипниках) і у вакуумі. При цьому маховики попарно обертаються завжди у різних напрямках.

Напря́м використання маховиків розробляє також фірма BMW, працюючи над барабаном маховика з волокнистим зміцненням і над використанням гібридних підшипників (комбінація постійних і електромагнітних).

Витрати, які необхідні для реалізації надпровідних підшипників відносно невеликі, тому що підшипники повинні працювати при температурі рідкого азоту.

**Використання об'ємного регульованого гідроприводу.** Використання людством об'ємного гідроприводу і, зокрема аксіально-поршневих машин, налічує багато сторіч. Деякі учені (наприклад, Kordak) вважають, що вперше пристрій аксіально-поршневого насоса був описаний в 1588 р. військовим інженером Агостіном Рамелі, який служив при дворі французького короля Генріха III, в роботі «Різні і художні машини» [326].

Відоме застосування об'ємного гідроприводу в Англії в XVII—XVIII ст. для приводу ткацьких верстатів. Проте, в наступному, у зв'язку з швидким розвитком парових, електричних машин, двигунів внутрішнього згорання, гідропривід був забутий.

Технічні можливості, які лежать в основі приводів з аксіально-поршневими насосами, були правильно оцінені автомобільним виробником Джон-Луїс Рено на початок XX ст.

До кінця XX і початку XXI ст. об'ємний гідропривід отримав широкий розвиток. Досягнуто робочий тиск у 45 Мпа, об'ємна стала гідромоторів може досягати десятків літрів, потужності, вирости до багатьох сотень і тисяч кіловат.

Регульований об'ємний гідропривід в даний час знаходить широке застосування в екскаваторах, кранах на пневмоколісному шасі і гусеничному ході, суднових і плаваючих кранах, міських автобусах і автомобілях. У роботі [327] сформульовані загальні вимоги, яких необхідно дотримуватися при розробці силової установки з двигуном малої потужності, гідрооб'ємною передачею, акумуляцією і рекуперацією енергії: (стоянки біля світлофора, рух накатом). Це приводить до більш простій схемі силової установки (рис. 1.3, в). Силова установка містить лише один насос. Установки з акумуляцією енергії

дозволяють скоротити витрати палива на 38...50%. Одна з таких установок, розроблена С.Шибером приведена на рис. 2.3.

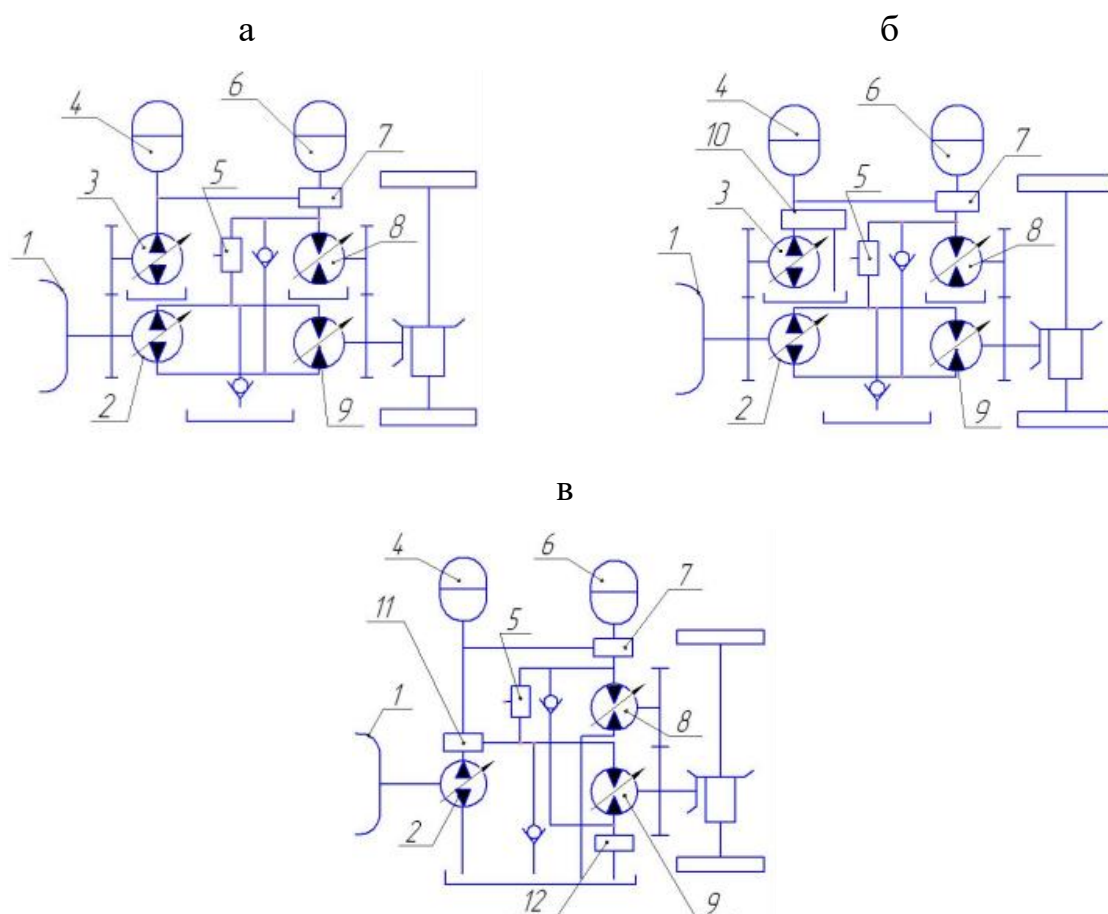


Рисунок. 1.3 - Схеми силових установок з малорозмірним двигуном, акумуляцією і рекуперацією енергії

- 1 — ДВЗ; 2,3 — насоси; 4,6 — гідропневмоакумулятори ;  
5, 7,10,11 — розподільники; 9— регульовані гідромотори.

**Економія енергії в екскаваторах.** У роботах [325, 327..331] розглянуті основні досягнення в області економії енергії в екскаваторах. Слід зазначити, що всі досягнення в області мобільних робочих машин пов'язані з дослідженнями ВНІБУДДОРМАШ, який протягом десятиліть був флагманом вітчизняної техніки. Зокрема, отримані позитивні результати по економії енергії в екскаваторах. Так, наприклад, в гідроприводі екскаватора Е0-5124 застосовані енергозберігаючі пристрої автоматичного управління двигуном, комбінованій

регуляції робочого об'єму насосів, локальній рекуперації потенційної енергії піднятого робочого устаткування, а також використанні плаваючі положення механізму повороту платформи, що забезпечило в порівнянні з прототипом зниження на 30% питомої експлуатаційної витрати палива і скорочення на 10% тривалості циклу.

На Калінінському екскаваторному заводі створені експериментальні зразки машин з енергозберігаючими пристроями — екскаватори ЕО-3322Д, ЕО-5122А і ЕО-4125. Були застосовані пристрій автоматичного управління двигуном, призначений для автоматичного зменшення подачі палива під час холостого ходу і зниження частоти обертання валу двигуна з максимальної (2300 об/хв) до мінімально допустимою стійкою (1000 про./хв). При цьому витрата палива під час холостого ходу знизилася в 3 рази, середня годинна і питома технічна витрата палива — на 8%. Упроваджено комбінована регуляція робочого об'єму аксіально-поршневих насосів 207-32 за тиском. Тому при нейтральному положенні рукояток блоків управління екскаватором насоси мають мінімальний робочий об'єм. Завдяки комбінованій регуляції, питома технічна витрата палива знижується на 7...9%. Пристрій локальної рекуперації енергії при підйомі — опусканні стріли забезпечує скорочення на 8...10 % *тривалість* циклу екскавації і зменшує на 12... 15 % *питому* витрату палива з урахуванням холостого ходу.

Аналогічні енергозберігаючі пристрої до екскаватора ЕО-4125 дозволили понизити питому витрату палива на 32 %, а продуктивність виросла на 1 %. Щодо екскаватора ЕО-5122А економія палива склала 20,7 %, а продуктивність підвищилася на 15,6 %.

**Висновок.** Таким чином розглянуті різні шляхи економії енергії в ЗТМ. З розгляненого матеріалу можна зробити висновок, що ця проблема може бути віришена тільки економією енергії у всіх галузях виробництва. Технічне обслуговування і ремонт будівельних машин не є виключенням.

## **5.6 Про розрахунок на міцність і жорсткість оболонкових конструкцій на базі варіаційного RVR-метода**

Проблема підвищення надійності механізмів і машин є дуже актуальною у машинобудівній галузі. Рішення цієї проблеми пов'язане, зокрема, з потребами уточнених досліджень напружено-деформованого стану (НДС) відповідальних оболонкових елементів конструкцій сучасної техніки. Зазначимо, що в інженерній практиці при розв'язанні складних задач розрахунку тривимірного НДС пружних оболонок усе більша увага приділяється змішаним варіаційним постановкам, що будуються на основі функціонала Рейсснера  $I_R$  [332 – 334] при незалежній апроксимації вектора переміщення  $u$  і тензора напружень  $\sigma$ . Чисельної реалізації таких постановок істотно заважали утруднення в оцінці точності одержуваних результатів через відсутність екстремуму в точці стаціонарності функціонала  $I_R$ . Тому у розв'язанні названої проблеми становить науковий інтерес запропонована в роботі [335] оцінка вірогідності наближених розв'язків просторових задач статички пружних оболонок довільної товщини.

Ефективність чисельних методів визначається, насамперед, можливістю одержання науково обґрунтованих і достовірних результатів. Тому у зв'язку зі зростаючою роллю наближених методів для розв'язання різних задач природознавства визначальне значення для оцінки результатів здобувають питання про збіжність одержуваних розв'язків і аналіз їхньої погрішності. Незважаючи на те, що варіаційні методи в розрахунковій інженерній практиці одержали велике поширення, при достатку розв'язаних задач, на жаль, не завжди є впевненість затверджувати, що знайдений розв'язок є достовірним – особливо це зауваження стосується задач з областями складної геометрії. Варто мати на увазі, що якщо навіть удається засобами функціонального аналізу довести в загальному виді збіжність створеного наближеного методу, це не виключає необхідності вивчення його практичної збіжності.

Точність наближеного розв'язку можна оцінити різними способами: порівнянням чисельних результатів з експериментальними даними чи з відомим точним розв'язком; розрахунками простих тестових прикладів; шляхом статистичного підходу; дослідженням швидкості збіжності; визначенням числа членів, необхідного для задоволення наперед заданій точності; оцінкою залишкового члена ряду; визначенням числового чи відсоткового вкладу кожного зі знайдених членів ряду в їхню суму абсолютних величин; проведенням повторних обчислень з різними значеннями параметрів задачі, таких як величина кроку, число ітерацій. У цьому плані представляє науково-практичний інтерес розроблений новий науково обґрунтований [336] варіаційний чисельно-аналітичний RVR-метод [337], в якому програмно здійснюваний алгоритм [335] апостеріорної двосторонньої інтегральної оцінки точності наближених розв'язків варіаційних задач є надійним засобом перевірки вірогідності одержуваних чисельних результатів, оскільки його ефективність підтверджена чисельними дослідженнями збіжності розв'язків крайових задач різної складності та задовільною відповідністю отриманих результатів з відомими в літературі чисельними й експериментальними даними.

RVR-метод запропоновано для розрахунку тривимірного НДС статично навантажених нетонких анізотропних оболонок (зокрема, пластин), як однозв'язних, так і ослаблених отворами довільних розмірів і форм [337 – 341]. Алгоритмічно простий при чисельній реалізації RVR-метод ґрунтується на варіаційному принципі Рейсснера [332 – 334] (для підвищення точності розв'язання задач), методі І.М. Векуа [342] (для зведення розв'язку тривимірної задачі регулярною послідовністю розв'язків двовимірних задач), теорії R-функцій [343 – 347] (для точного врахування на аналітичному рівні геометричної інформації досліджуваних оболонок з отворами) та на залученні повної системи загальних рівнянь просторових задач теорії пружних оболонок [348].

Проведені чисельні дослідження підтверджують перспективну можливість ефективного використання RVR-методу при проектуванні оболонкових

елементів конструкцій у різних галузях сучасної техніки. Зокрема, при розробці RVR-методу були поставлені і вирішені наукові задачі:

- теоретично обґрунтовано використання змішаного варіаційного принципу Рейсснера для розв'язання в тривимірній постановці складних крайових задач механіки деформівного твердого тіла;

- надано нові варіаційні постановки просторових крайових задач статично навантажених пружних оболонок довільної гауссової кривини;

- розвинуто метод редукції тривимірних задач теорії оболонок за рахунок запропонованого алгоритму регулярного процесу уточнення моделей оболонки шляхом варіювання кількістю утримуваних членів у компонентах структур розв'язків для переміщень і напружень; створено комп'ютерні програмні розробки, що реалізують чисельно-аналітичний метод розв'язання крайових задач і процеси регулярного уточнення моделі пружної оболонки;

- уперше сформульовано і математично доведено (на базі варіаційних нерівностей теорії операторів у гільбертовому просторі та методу подвійності теорії опуклого аналізу) достатню ознаку збіжності методу Рітца при відшуканні точки стаціонарності неекстремального функціонала Рейсснера (конструктивним слідством доведеної апостеріорної оцінки точності розв'язків змішаних варіаційних задач є те, що для покращення збіжності процесу Рітца шукані функції доцільно подати структурами розв'язків, які точно задовольняють усі граничні умови досліджуваних крайових задач);

- створено нові аналітичні структури розв'язків задач статички пружних оболонок, які враховують зміну метрики за товщиною оболонок і точно задовольняють усі граничні умови для просторових крайових задач;

- отримано програмно здійснюваний в RVR-методі алгоритм апостеріорної двосторонньої інтегральної оцінки точності наближених розв'язків варіаційних задач (його ефективність підтверджена чисельними дослідженнями збіжності розв'язків крайових задач різної складності та задовільною відповідністю одержуваних результатів з відомими в літературі аналітичними, чисельними й



експериментальними даними).

Як відомо, пружні оболонки, що ослаблені отворами (концентраторами напружень) найрізноманітніших форм і розмірів, є одними з найбільш відповідальних елементів, від міцності яких нерідко залежить працездатність і надійність досліджуваної конструкції в цілому. Успіх у розрахунках НДС оболонок визначається не тільки обґрунтованістю розрахункових схем і можливостями прийнятої уточненої моделі оболонки, але і рівнем реалізації використовуваного методу при розв'язанні конкретних і значимих у прикладному відношенні класів задач.

В представленій роботі за допомогою викладеного в монографії [337] ефективного RVR-методу розглянемо дослідження кількісних і якісних закономірностей концентрації напружень в циліндричній оболонці с періодичною системою прямокутних отворів на прикладі розрахунку стрічкового бандажу - згорнутої по дузі окружності сталевий смуги, якою зв'язують у пакети робочі лопатки парових турбін. Такий бандаж необхідний для демпфірування коливань і зменшення дій обурюючих сил на окрему лопатку. Крім того він сприяє кращій організації парового потоку і зменшує протічки пару в робочому колесі, підвищуючи тим самим економічність турбіни. У бандажу є отвори для шипів робочих лопаток, що входять у ці отвори. Шипи розклепуються, за рахунок чого бандаж утримується на лопатках. Основним навантаженням, що сприймається бандажем під час роботи турбіни, є навантаження від відцентрових сил.

Існують різні методи розрахунку на міцність стрічкових бандажів. Так, у роботах [349, 350] даються спрощені методи розрахунку, які, незважаючи на свою простоту, мають істотні недоліки і не дозволяють одержувати результати з достатнім ступенем точності. Чисельне дослідження бандажа з круговими отворами проведено в статті [351]. У даній роботі розв'язується більш складна крайова задача, коли бандаж розглядається як пружна оболонка з періодичною системою отворів прямокутної форми.

Досліджуваний бандаж за своєю конструкцією є елементом циліндричної оболонки радіуса  $R$  її серединної поверхні  $\Omega_s$  і сталої товщини  $h$  та у розгорненні являє собою смугу, визначення НДС якої внаслідок симетрії зводиться до дослідження періодичної області  $\Omega$  - розрахункової ділянки ABCDEF (рис. 1), де  $AB = a$ ,  $BC = b$ ,  $FE = c$ ,  $ED = d$ . Координатна вісь  $x$  ( $-b \leq x \leq b$ ) спрямована по утворюючої, вісь  $y$  - по напрямної циліндра, а координатна лінія  $z$  ( $-h/2 \leq z \leq h/2$ ) перпендикулярна поверхні  $\Omega_s$  ( $z = 0$ ).

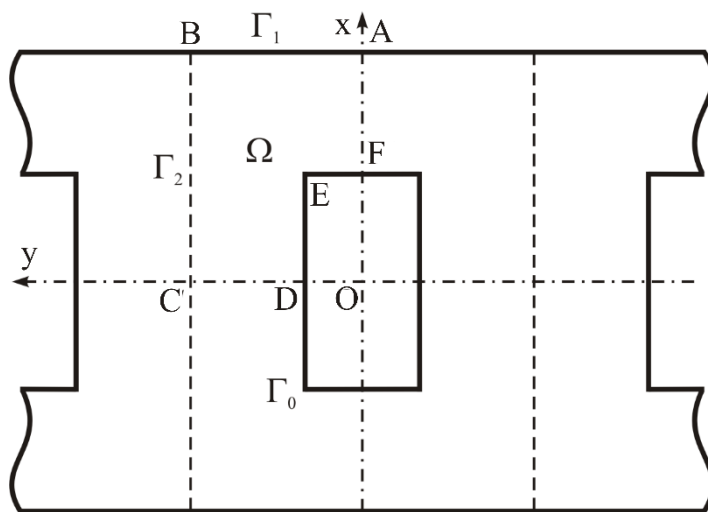


Рисунок 1. Розрахункова періодична ділянка пружної області бандажа

Основним навантаженням, що сприймається бандажем, є рівномірно розподілене навантаження від відцентрових сил інтенсивності

$$q = \rho \omega^2 R h, \quad (1)$$

де  $\rho$  і  $\omega$  - щільність матеріалу і кутова швидкість обертання пружної оболонки.

Розіб'ємо границю області  $\Omega$  на елементи  $\Gamma_0$ ,  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$  ( $\omega_s = 0$  - рівняння елемента  $\Gamma_s$ ;  $s = \overline{0,2}$ ), де  $\Gamma_0$  - контур отвору,  $\Gamma_1$  - контур  $AB$  і  $\Gamma_2$  - контур  $BC$ . Уважається, що краї отворів жорстко зацемлені, а торці оболонки ( $x = \pm b$ ) вільні від зовнішніх зусиль і моментів. Використовуючи метод Рітца для розв'язання варіаційного рівняння Рейсснера [337], введемо шукані функції - незалежні між собою узагальнені переміщення  $u$ ,  $v$ ,  $w$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  та узагальнені зусилля  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $S$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $H$ ,  $Q_x$  і  $Q_y$  теорії оболонок з кінцевою зсувною жорсткістю [352].

Граничні умови розглянутої крайової задачі на жорстко защемленому контурі  $\Gamma_0$ , на вільній від зовнішніх зусиль та моментів границі  $\Gamma_1$  та на контурі  $\Gamma_2$  (згідно умов періодичності розв'язків) мають вигляд:

$$\text{на } \Gamma_0 \quad u = v = w = \gamma_1 = \gamma_2 = 0; \quad (2)$$

$$\text{на } \Gamma_1 \quad N_x = S = M_x = H = Q_x = 0; \quad (3)$$

$$\text{на } \Gamma_2 \quad v = S = \gamma_2 = H = Q_y = 0. \quad (4)$$

Для сформульованої крайової задачі структура аналітичних розв'язків (узагальнених переміщень і зусиль), які точно задовольняють всім заданим граничним умовам (2), (3) і (4), шукаємо у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} u &= \omega_0 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} A_{1m} P_{2i+1} C_j; & v &= \omega_0 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} A_{2m} P_{2i} S_j; \\ w &= \omega_0 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} A_{3m} P_{2i} C_j; & N_x &= \omega_1 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} B_{1m} P_{2i} C_j; \\ N_y &= \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} B_{2m} P_{2i} C_j; & S &= \omega_1 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} B_{3m} P_{2i+1} S_j; \\ Q_x &= \omega_1 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} B_{7m} P_{2i+1} C_j; & Q_y &= \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} B_{8m} P_{2i} S_j, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де  $A_{1m}, A_{2m}, \dots, A_{5m}, B_{1m}, B_{2m}, \dots, B_{8m}$  - шукані сталі;  $m = i(n_2 + 1) + j + 1$ ;  $P_n$  - поліном Лежандра ступеня  $n$  щодо змінної  $x$ ; функції  $C_j$  і  $S_j$ ,  $\omega_0$  і  $\omega_1$  визначаються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} C_j &= \cos \frac{j\pi}{a} y; & S_j &= \sin \frac{(j+1)\pi}{a} y; \\ \omega_0 &= \omega_2 \vee_0 & \omega_3 &= \omega_2 + \omega_3 + \sqrt{\omega_2^2 + \omega_3^2}; \\ \omega_1 &= \frac{1}{2b} (b^2 - x^2); & \omega_2 &= \frac{1}{2d} (x^2 - d^2); & \omega_3 &= \frac{1}{2c} (y^2 - c^2). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Зазначимо, що вирази для шуканих розв'язків  $\gamma_1, \gamma_2, M_x, M_y, H$  будуть такими ж, як і вирази для  $u, v, N_x, N_y, S$  в (5), якщо в останніх замінити  $A_{1m}, A_{2m}, B_{1m}, B_{2m}, B_{3m}$  на  $A_{4m}, A_{5m}, B_{4m}, B_{5m}, B_{6m}$  відповідно.

Згідно [337] для досліджуваної ізотропної циліндричної оболонки з обраною системою координат  $(x, y, z)$  варіаційне рівняння Рейсснера у випадку точного задовільнення розв'язків крайовим умовам (в цьому разі відсутні контурні інтеграли, що містять у собі ці умови) має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} & \iint_{\Omega} \left\{ - \left[ \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial y} \right] \delta u - \left[ \frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{Q_y}{R} \right] \delta v - \right. \\ & - \left[ - \frac{N_y}{R} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q \right] \delta w + \left[ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{Gh} S \right] \delta S - \\ & - \left[ \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} - Q_x \right] \delta \gamma_1 - \left[ \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial x} - Q_y \right] \delta \gamma_2 + \\ & + \left[ \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{Eh} (N_x - \nu N_y) \right] \delta N_x + \left[ \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{R} w - \frac{1}{Eh} (N_y - \nu N_x) \right] \delta N_y + \\ & + \left[ \frac{\partial \gamma_1}{\partial x} - \frac{12}{ERh^3} (M_x - \nu M_y) \right] \delta M_x + \left[ \frac{\partial \gamma_2}{\partial y} - \frac{12}{ERh^3} (M_y - \nu M_x) \right] \delta M_y + \\ & + \left[ \frac{\partial \gamma_1}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_2}{\partial x} - \frac{1}{GRh} S \right] \delta H + \left[ \frac{\partial w}{\partial x} + \gamma_1 - \frac{6}{5Gh} Q_x \right] \delta Q_x + \\ & \left. + \left[ \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{1}{R} v + \gamma_2 - \frac{6}{5Gh} Q_y \right] \delta Q_y \right\} dx dy = 0, \end{aligned} \right) \quad (7)$$

де  $E$  і  $\nu$  – відповідно модуль Юнга (модуль пружності) і коефіцієнт Пуассона ізотропної оболонки; модуль зсуву  $G = E/2(1 + \nu)$ .

Після підстановки побудованої структури розв'язків (5) у варіаційне рівняння Рейсснера (7) і обчислення відповідних інтегралів досліджувана крайова задача зводиться до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь відносно шуканих сталих на базі програмної розробки, написаної на

алгоритмічній мові Borland Pascal. Порядок симетричної стрічкової матриці системи рівнянь дорівнюватиме  $N = 13(n_1 + 1)(n_2 + 1)$ .

Виконаємо розрахунок сталевого стрічкового бандажа з параметрами:  $E = 196 \text{ ГПа}$ ;  $\nu = 0,3$ ;  $R = 0,6 \text{ м}$ ;  $h = 3 \text{ мм}$ . При  $d = 8 \text{ мм}$  були розглянуті такі варіанти розмірів періодичної області  $\Omega$  бандажа:

$$1. \quad a : b : c : d = 3 : 5 : 1 : 2; \quad (8)$$

$$2. \quad a : b : c : d = 6 : 8 : 2 : 3; \quad (9)$$

$$3. \quad a : b : c : d = 3 : 4 : 1 : 2; \quad (10)$$

$$4. \quad a : b : c : d = 6 : 6 : 2 : 3. \quad (11)$$

У результаті чисельного розв'язання задачі на рис. 2 побудована пружна поверхня розрахункової ділянки  $\Omega$  бандажа.

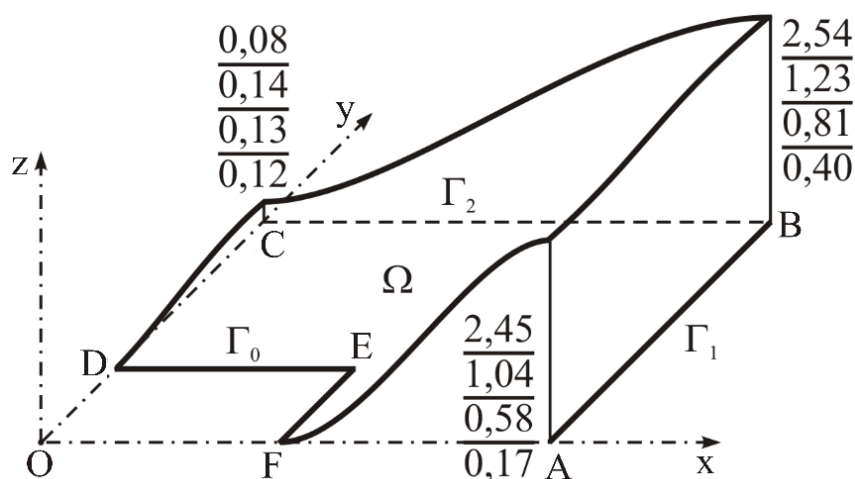


Рисунок 2. Пружна поверхня розрахункової ділянки  $\Omega$  бандажа

По осі  $z$  на рис. 2 відкладені значення приведенного прогину

$$w^* = \frac{Eh^3}{qa^4} w, \quad (12)$$

а навколо точок  $A$ ,  $B$  і  $C$  приводяться числа, що відповідають значенням  $w^*$  у цих точках для варіантів (8) ÷ (11). При збільшенні товщини  $h$  від 3 до 6 мм максимальна величина прогину  $w_{\max}^*$  для кожного з варіантів збільшується на 20-25% (напруження при цьому змінюються не більше, ніж на 10%). При

збільшенні радіуса  $R$  від 0,5 до 1 м значення прогинів і напружень змінюються не більше, ніж на 4%, що дозволяє виконувати розрахунок бандажа, розглядаючи його як пластину. На рис. 3 і 4 для варіанта 3 (10) побудовані лінії рівня приведених головних напружень (при  $i = 1, 2$ )

$$\sigma_i^* = \frac{h^2}{qa^2} \sigma_i \quad (13)$$

(цифри на кривих позначають величину  $100\sigma_i^*/16$ ) на внутрішній (найбільш напруженій) поверхні розрахункової ділянки бандажа.

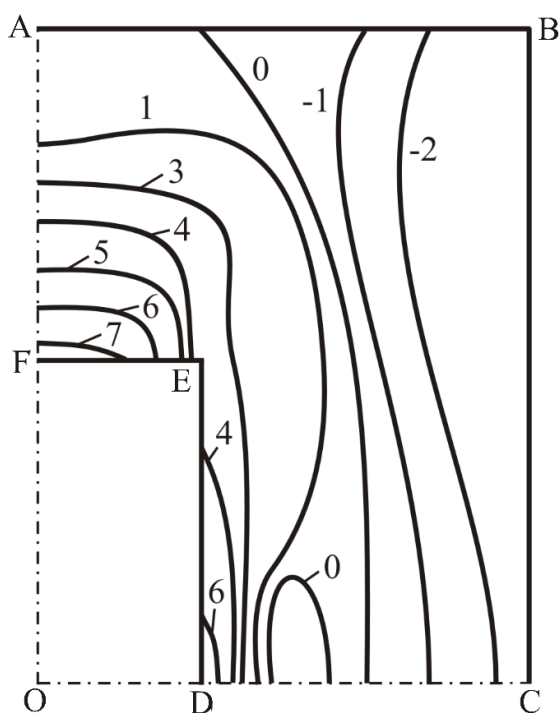


Рисунок 3. Лінії рівня величини  $\sigma_1^*$

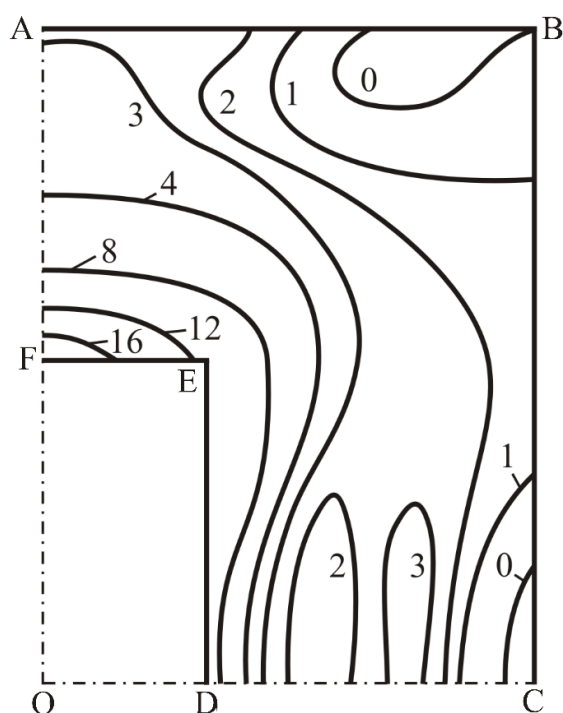


Рисунок 4. Лінії рівня величини  $\sigma_2^*$

Таблиця 1. Значення величин  $\sigma_1^*$  і  $\sigma_2^*$  у точках досліджуваної області  $\Omega$

| Номер варіанта | A                   | B                   | C                    | D                   | E                   | F                   |
|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 (8)          | $\frac{-0,05}{0,0}$ | $\frac{-0,16}{0,0}$ | $\frac{-0,23}{0,11}$ | $\frac{1,41}{1,94}$ | $\frac{1,24}{3,31}$ | $\frac{2,33}{5,62}$ |
| 2 (9)          | $\frac{-0,1}{0,0}$  | $\frac{-0,25}{0,0}$ | $\frac{-0,38}{0,14}$ | $\frac{1,51}{1,58}$ | $\frac{1,03}{2,44}$ | $\frac{2,31}{4,33}$ |

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

|        |                     |                     |                       |                     |                     |                     |
|--------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 3 (10) | $\frac{0,00}{0,46}$ | $\frac{-0,44}{0,0}$ | $\frac{-0,36}{-0,09}$ | $\frac{1,09}{1,34}$ | $\frac{0,58}{1,89}$ | $\frac{1,20}{2,98}$ |
| 4 (11) | $\frac{0,00}{0,22}$ | $\frac{-0,45}{0,0}$ | $\frac{-0,44}{-0,04}$ | $\frac{0,90}{1,29}$ | $\frac{0,43}{1,40}$ | $\frac{0,89}{1,64}$ |

У табл. 1 для чотирьох варіантів (8) ÷ (11) надані значення величин  $\sigma_1^*$  (чисельник) і  $\sigma_2^*$  (знаменник) у деяких точках періодичної області  $\Omega$  бандажа, а графіки напружень  $\sigma_1^*$  і  $\sigma_2^*$  на контурі FED прямокутного отвору представлені на рис. 5 і 6 відповідно.

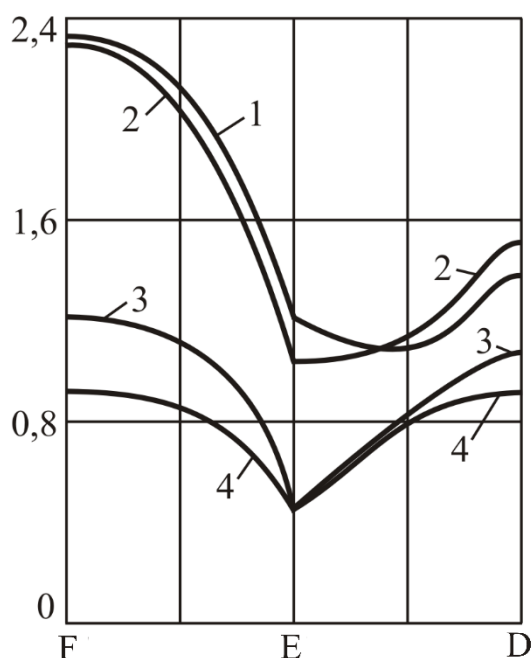


Рисунок 5. Графіки величини  $\sigma_1^*$

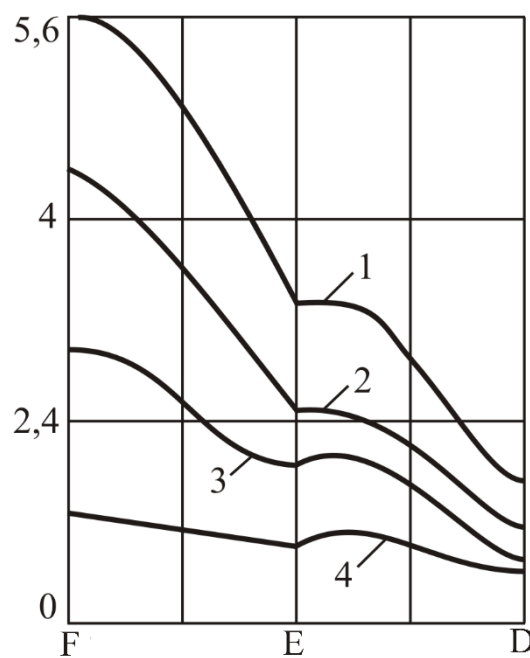


Рисунок 6. Графіки величини  $\sigma_2^*$

Згідно представленим результатам проведені дослідження свідчить про те, що околиця точки F є найбільш напруженою областю розрахункової періодичної ділянки бандажа для всіх розглянутих варіантів його розмірів.

Розроблений RVR-метод дозволив одержати уточнені розв'язки ряду прикладних задач, зокрема, виконано чисельне дослідження напруженого стану пружного корпусу гідромотора, послабленого отворами. У приводах сучасних машин в якості засобу керування і поліпшення динамічних характеристик нерідко застосовуються гідрооб'ємні передачі. Одним з основних елементів

гідромотора є його корпус – товстостінне циліндричне тіло з періодичною системою співвісне розташованих циліндричних порожнин. При роботі машини масло, яке перебуває під тиском у порожнині отворів, викликає на їхній поверхні рівномірно розподілене навантаження інтенсивності  $q$ . У гідрооб'ємних машинах тиск масла досягає високих значень, і фактор концентрації напружень близько отворів може суттєво впливати на несучу здатність конструкції, тому при проектуванні гідромотора виникає потреба дослідження його корпусу на міцність та виробленню обґрунтованого вибору його конструкторських параметрів.

Покажемо ефективність використання RVR-метода [337] у задачі розрахунку корпусу гідромотору. Оскільки порожнини його отворів навантажені силами, що не змінюються уздовж осі циліндричного корпусу і є перпендикулярними до цієї осі, частина корпусу, яка вилучена від торців, зазнає плоскої деформації. Тоді з метою спрощення математичної постановки відповідної крайової задачі теорії пружності досліджуваний корпус будемо розглядати як круглу ізотропну пластину сталюї товщини із зовнішнім і внутрішнім круговими контурами радіусів  $R$  і  $R_1$  (рис. 7). Уведемо циліндричну систему координат  $\{r, \varphi, z\}$ . Переміщення точок деформованого тіла відбувається в площинах  $(r, \varphi)$  – у перетинах, перпендикулярних до осі  $z$  циліндричного тіла, тобто

$$\varepsilon_z = 0; \quad \gamma_{rz} = 0; \quad \gamma_{\varphi z} = 0; \quad \sigma_{rz} = 0; \quad \sigma_{\varphi z} = 0. \quad (14)$$



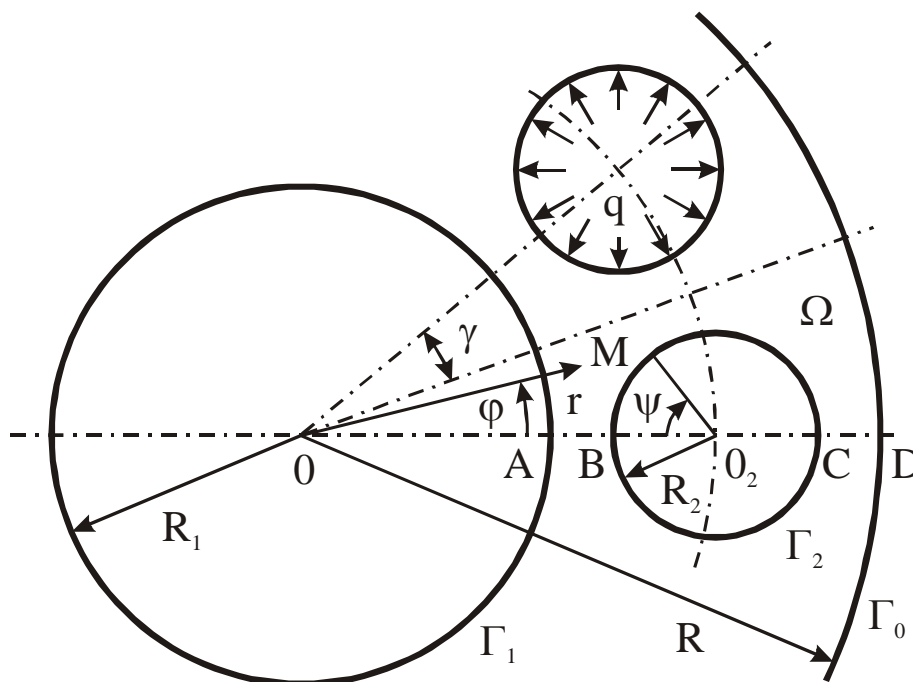


Рис. 7. Досліджувана періодична область  $\Omega$

Розглянемо в полярній системі координат  $\{r, \varphi\}$  пружну область, яка ослаблена періодичною системою  $N$  кругових отворів однакового радіуса  $R_2$  (рис. 7). Визначення НДС досліджуваного корпусу гідромотору згідно симетрії зводиться до розрахунку періодичної ділянки  $\Omega$ , яка відповідає проміжку  $0 \leq \varphi \leq \gamma$ , де  $\gamma = \pi/N$ .

Нехай  $OO_2 = a$ . Розіб'ємо границю  $\Omega$  на елементи  $\Gamma_i$  ( $i = \overline{0,2}$ ), які задаємо функціями  $\omega_i$ , що звертаються в нуль на цих границях ( $\omega_i|_{\Gamma_i} = 0$ ):

$$\omega_0 = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2; \quad \omega_1 = \frac{1}{R_2^2}(r^2 - R_1^2); \quad \omega_2 = \frac{1}{R_2^2}(r^2 - 2ra \cos \varphi + a^2) - 1. \quad (15)$$

Зовнішня і внутрішня поверхня товстостінного циліндра (корпусу гідромотора) вільні від зовнішніх напружень, а поверхні циліндричних порожнин (кругових отворів радіуса  $R_2$ ) навантажені рівномірно розподіленим тиском інтенсивності  $q$ . Таким чином, граничні умови досліджуваної плоскої задачі будуть наступними:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r = 0, \quad \sigma_{r\varphi} = 0 \quad \text{на } \Gamma_0 \text{ і } \Gamma_1; \\ \sigma_n = -q, \quad \sigma_\tau = 0 \quad \text{на } \Gamma_2. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Крім того, на граничній поверхні, обумовленої рівнянням  $\varphi = \gamma$ , повинні виконуватися умови періодичності:

$$u_\varphi = 0, \quad \sigma_{r\varphi} = 0. \quad (17)$$

Згідно [337] нормальні  $\sigma_n$  і дотичні  $\sigma_\tau$  напруження границі  $\Gamma_2$  пов'язані з радіальними  $\sigma_r$ , окружними  $\sigma_\varphi$  і дотичними  $\sigma_{r\varphi}$  напруженнями залежностями:

$$\sigma_n = f_1^2 \sigma_r + 2f_1 f_2 \sigma_{r\varphi} + f_2^2 \sigma_\varphi; \quad \sigma_\tau = f_1 f_2 (\sigma_\varphi - \sigma_r) + (f_1^2 - f_2^2) \sigma_{r\varphi}, \quad (18)$$

де напрямні косинуси  $f_1$  і  $f_2$  нормалі  $\mathbf{n}$  до контуру  $\Gamma_2$  визначаються виразами:

$$f_1 = \frac{\partial \omega_2}{\partial r} \left[ \left( \frac{\partial \omega_2}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{1}{r} \frac{\partial \omega_2}{\partial \varphi} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}; \quad f_2 = \frac{1}{r} \frac{\partial \omega_2}{\partial \varphi} \left[ \left( \frac{\partial \omega_2}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{1}{r} \frac{\partial \omega_2}{\partial \varphi} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}. \quad (19)$$

Можливий також спрощений варіант, коли

$$f_1 = \frac{R_2}{2} \frac{\partial \omega_2}{\partial r}; \quad f_2 = \frac{R_2}{2r} \frac{\partial \omega_2}{\partial \varphi}. \quad (20)$$

Варіанти (19) і (20), які точно збігаються на границі  $\Gamma_2$ , є рівноцінними з погляду виконання граничних умов (16), однак збіжність процесу розв'язання досліджуваної задачі трохи краще при виборі функцій  $f_1$  і  $f_2$  у вигляді (19).

Представимо точно задовольняючі умовам (16) і (17) радіальне  $u_r$ , окружне  $u_\varphi$  переміщення та компоненти напружень  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\varphi$ , у вигляді:

$$\left. \begin{aligned}
 \mathbf{u}_r &= \sum_{k=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \mathbf{u}_{rm} P_k C_j; \\
 \mathbf{u}_\varphi &= \sum_{k=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \mathbf{u}_{\varphi m} P_k S_j; \\
 \sigma_r &= \Phi_r \left( -f_1^2 \mathbf{q} + f_2^2 \sum_{k=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_m P_k C_j \right) + \omega_0 \omega_1 \omega_2 \sum_{k=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_{rm} P_k C_j; \\
 \sigma_\varphi &= \Phi_\varphi \left( -f_2^2 \mathbf{q} + f_1^2 \sum_{k=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_m P_k C_j \right) + \omega_2 \sum_{k=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_{\varphi m} P_k C_j; \\
 \sigma_{r\varphi} &= \Phi_{r\varphi} \left( -f_1 f_2 \mathbf{q} - f_1 f_2 \sum_{k=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_m P_k C_j \right) + \omega_0 \omega_1 \omega_2 \sum_{k=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_{r\varphi m} P_k S_j,
 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

де  $P_k = P_k \left( \frac{r - R_1}{R - R_1} \right)$  – поліноми Лежандра;

$$\left. \begin{aligned}
 C_j &= \cos \left( \frac{j\pi\varphi}{\gamma} \right); \quad S_j = \sin \left[ \frac{(j+1)\pi\varphi}{\gamma} \right]; \quad m = i(n_2 + 1) + j + 1; \\
 \Phi_r &= \frac{\omega_0 \omega_1}{\omega_0 \omega_1 + \omega_2}; \quad \Phi_\varphi = \frac{1}{1 + \omega_2}; \quad \Phi_{r\varphi} = \frac{\omega_0 \omega_1 S_0}{\omega_0 \omega_1 S_0 + \omega_2}.
 \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Для досліджуваної крайової задачі компоненти напружень можна представити також рядами:

$$\left. \begin{aligned}
 u_r &= \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} u_{rm} Q_i C_j; \\
 u_\varphi &= \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} u_{\varphi m} Q_i S_j; \\
 \sigma_r &= -T_r f_1^2 q + f_2^2 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_m N_i C_j + \omega_2 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_{rm} N_i C_j; \\
 \sigma_\varphi &= -T_\varphi f_2^2 q + f_1^2 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_m N_i C_j + \omega_2 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_{\varphi m} Q_i C_j; \\
 \sigma_{r\varphi} &= -T_{r\varphi} f_1 f_2 q - T_{\sigma f_1 f_2} \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_m N_i C_j + \omega_2 \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sigma_{r\varphi m} N_i S_j; \\
 Q_i &= \cos \left[ \frac{i\pi(r-R_1)}{R-R_1} \right]; \quad N_i = \sin \left[ \frac{(i+1)\pi(r-R_1)}{R-R_1} \right]; \\
 T_r &= \frac{N_0}{N_0 + \omega_2}; \quad T_\varphi = \frac{1}{1 + \omega_2}; \quad T_{r\varphi} = \frac{N_0 S_0}{N_0 S_0 + \omega_2}; \quad T_\sigma = \frac{S_0}{S_0 + \omega_2}.
 \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned}
 Q_i &= \cos \left[ \frac{i\pi(r-R_1)}{R-R_1} \right]; \quad N_i = \sin \left[ \frac{(i+1)\pi(r-R_1)}{R-R_1} \right]; \\
 T_r &= \frac{N_0}{N_0 + \omega_2}; \quad T_\varphi = \frac{1}{1 + \omega_2}; \quad T_{r\varphi} = \frac{N_0 S_0}{N_0 S_0 + \omega_2}; \quad T_\sigma = \frac{S_0}{S_0 + \omega_2}.
 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Варіаційне рівняння Рейсснера (умова стаціонарності функціонала Рейсснера  $\mathbf{I}_R$ ) для розрахункової ізотропної області  $\Omega$  має вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 &\iint_{\Omega} \left\{ - \left[ \frac{\partial \sigma_\varphi}{r \partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_{\varphi r}}{\partial r} + \frac{2}{R_1} \sigma_{\varphi r} \right] \delta u_\varphi - \right. \\
 &\quad \left. - \left[ \frac{\partial \sigma_{\varphi r}}{r \partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{R_1} \right] \delta u_r + \right. \\
 &\quad \left. + \left[ \frac{\partial u_\varphi}{r \partial \varphi} + \frac{1}{R_1} u_r - \frac{1}{E} (\sigma_\varphi - \nu \sigma_r) \right] \delta \sigma_\varphi + \right. \\
 &\quad \left. + \left[ \frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{1}{E} (\sigma_r - \nu \sigma_\varphi) \right] \delta \sigma_r + \right. \\
 &\quad \left. + \left[ \frac{\partial u_r}{r \partial \varphi} - \frac{1}{R_1} u_\varphi + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{\sigma_{\varphi r}}{G} \right] \delta \sigma_{\varphi r} \right\} r d\varphi dr = 0.
 \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Після підстановки структур (21) або (23) у варіаційне рівняння Рейсснера (25) і обчислення відповідних інтегралів (при  $0 \leq \varphi \leq \gamma$ ,  $R_1 \leq r \leq R$ ) крайова задача зводиться до розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь щодо сталих  $u_{rm}$ ,  $u_{\varphi m}$ ,  $\sigma_{rm}$ ,  $\sigma_{\varphi m}$ ,  $\sigma_{r\varphi m}$  і  $\sigma_m$ , за значеннями яких визначаються переміщення і напруження, а також нормальне напруження  $\sigma_\psi$  на границі  $\Gamma_2$ :

$$\sigma_\psi = f_2^2 \sigma_r - 2f_1 f_2 \sigma_{r\varphi} + f_1^2 \sigma_\varphi. \quad (26)$$

Чисельна реалізація розглянутої задачі виконана для ізотропного (модуль пружності  $E = 196.2$  ГПа; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0.3$ ) корпусу гідромотора з наступними геометричними параметрами:  $a = 46.5$  мм;  $R = 65$  мм;  $R_1 = 28$  мм;  $R_2 = 13.75$  мм. На рис. 8 штриховими лініями показано (числа біля графіків відповідають значенням радіуса  $R_2$ ) розподіл наведеного напруження  $\tilde{\sigma} = \sigma_\psi/q$  на контурі отвору.

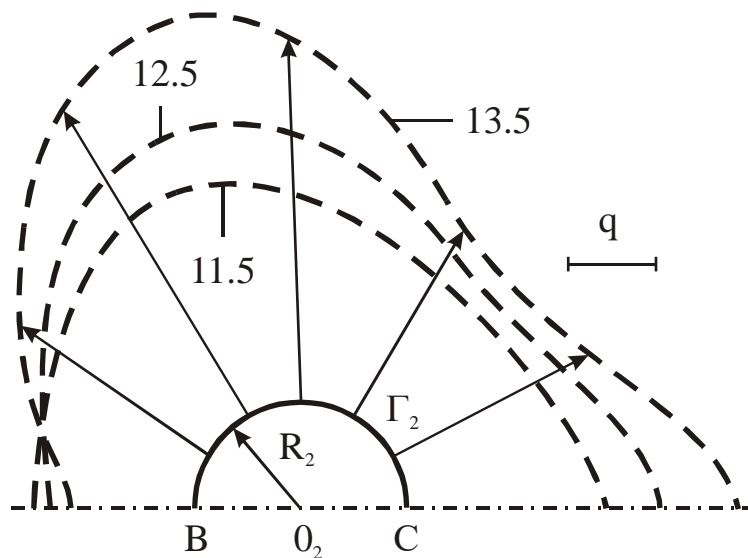


Рис. 8. Розподіл напруження  $\tilde{\sigma}$  на контурі отвору

У табл. 2 і 3 для характерних точок досліджуваної періодичної області  $\Omega$  представлені знайдені при різних значеннях міжцентрової відстані  $a$  і

радіуса  $R_2$  кругового отвору безрозмірні наведені напруження  $\tilde{\sigma}$  і наведені радіальні переміщення  $\tilde{u}_r = u_r \rho / q$  (при  $p = 10$  ТПа).

Таблиця 2. Значення  $\tilde{\sigma}$  у характерних точках досліджуваної області  $\Omega$

| a, мм                   | 45    |       | 46.5  |       | 48    |       | 49.5  |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $R_2$ , мм              | 11.5  | 13.75 | 11.5  | 13.75 | 11.5  | 13.75 | 11.5  | 13.75 |
| $\tilde{\sigma}_A$      | 1.875 | 3.007 | 1.689 | 2.536 | 1.235 | 1.097 | 1.061 | 1.963 |
| $\tilde{\sigma}_B$      | 1.288 | 0.542 | 1.490 | 1.086 | 1.590 | 1.585 | 1.371 | 2.265 |
| $\tilde{\sigma}_{\max}$ | 2.784 | 5.867 | 2.651 | 5.273 | 2.427 | 4.389 | 3.070 | 6.637 |
| $\tilde{\sigma}_C$      | 2.322 | 3.727 | 2.265 | 3.525 | 2.334 | 3.933 | 2.436 | 6.637 |
| $\tilde{\sigma}_D$      | 1.584 | 3.312 | 1.835 | 4.049 | 2.203 | 5.242 | 3.118 | 9.750 |

Таблиця 3. Значення  $\tilde{u}_r$  у характерних точках досліджуваної області  $\Omega$

| a, мм         | 45    |       | 46.5  |       | 48    |       | 49.5  |       |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $R_2$ , мм    | 11.5  | 13.75 | 11.5  | 13.75 | 11.5  | 13.75 | 11.5  | 13.75 |
| $\tilde{u}_A$ | 1.6   | 0.283 | 0.756 | 0.8   | 0.813 | 1.168 | 0.806 | 1.397 |
| $\tilde{u}_B$ | 0.37  | 0.129 | 0.483 | 0.588 | 0.532 | 0.888 | 0.504 | 1.08  |
| $\tilde{u}_C$ | 3.626 | 6.562 | 3.775 | 6.973 | 3.956 | 7.557 | 4.381 | 9.828 |
| $\tilde{u}_D$ | 3.248 | 6.107 | 3.415 | 6.594 | 3.647 | 7.246 | 4.111 | 9.555 |

З отриманих результатів випливає, що НДС корпусу гідромотора суттєво залежить від розмірів концентратора і від його розташування в досліджуваній області. Зокрема, при зміні величини радіуса  $R_2$  від 11.5 мм до 13.75 мм максимальне напруження  $\tilde{\sigma}_{\max}$ , яке виникає на контурі  $\Gamma_2$  отвору при  $\psi = 65^\circ \div 85^\circ$ , збільшується майже у два рази, а рівень напружень  $\tilde{\sigma}$  при цьому

зменшується в точці В ( $\psi = 0$ ) і збільшується в точці С ( $\psi = 180^\circ$ ). Радіальне переміщення  $u_r$  має максимальне значення на перемичці CD, де воно майже на порядок більше, ніж на перемичці АВ (рис. 7). При збільшенні міжцентрової відстані  $a$  і відповідно зменшенні перемички CD околиця точки D стає не менш напруженою, чим контур  $\Gamma_2$  отвору. Відзначимо, що отримані результати у вигляді встановлених залежностей НДС пружного корпусу від розмірів отворів і від їхнього розташування в розрахунковій області використані при проектуванні конкретного гідромотора. В даній роботі можливості варіаційного RVR-методу [337] наочно продемонстровано на прикладах виконання чисельного розв'язання важливих прикладних задачі при дослідженні напруженого стану циліндричного бандажа парової турбіни та корпусу гідромотора.

Отже, теоретично обґрунтований [336] чисельно-аналітичний RVR-метод розрахунку нетонких пружних оболонок з отворами може знайти ефективне застосування при проектуванні відповідальних статично навантажених оболонкових пружних елементів конструкцій у різних галузях сучасної техніки. При цьому програмно здійснюваний в RVR-методі алгоритм [335] апостеріорної інтегральної оцінки точності чисельних розв'язків варіаційних задач може стати надійним засобом перевірки достовірності одержуваних чисельних результатів, оскільки дозволяє автоматизувати пошук такої кількості апроксимацій, при якому процес збіжності розв'язків здобуває усталений характер.

**SECTION 6. METALLURGY AND ENERGY**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4.6.1

**6.1 CFD modeling of microjet combustion processes with asymmetric fuel supply**

The development needs of fuel combustion technologies necessitate in-depth studies of combustion processes in power devices. Among the different methods of organizing fuel combustion in these devices, microjet combustion is distinguished, which is achieved by crushing the flame into separate microfoci. Such combustion can be implemented, in particular, by forming a torch behind a system of flame stabilizers [353-365]. Corresponding microjet burners are characterized by a number of advantages, such as a high degree of homogenization of the combustion zone, improved stabilization properties, low toxicity of combustion products, etc.

Microjet combustion of fuel in a flame stabilizer system as an object of physical research is a complex of intricate processes (flows, mixture formation of fuel and oxidizer, fuel burnout, formation of temperature regimes of the combustion zone, etc.). However, at present, there is no necessary complexity and completeness of studies of various aspects of this combustion method. This primarily applies to studies related to new modifications of devices that implement this combustion [355, 357-361, 363-365]. Thus, one of the promising modifications of such devices used in operation under conditions of relatively high excess air ratios are stabilizer-type devices with asymmetric fuel supply (see, for example, [360, 361, 365]).

According to current trends, the analysis of the possibility of providing improved energy-ecological characteristics of these devices is one of the important areas of research on the processes of microjet combustion of fuel in new burner devices.

In recent decades, computer simulation has become an increasingly important tool for studying combustion processes and designing burners for various purposes. This is mainly due to the use of more and more advanced models that take into account a large number of complicating factors [362-365].

In this paper, using computer simulation, we study the processes of microjet



combustion in a burner with an asymmetric fuel supply. On this basis, the conditions for the rational organization of work processes in stabilizer type burners are analyzed, which ensures their high energy and environmental efficiency. The scheme of the module of the considered burner device is shown in fig. 1.

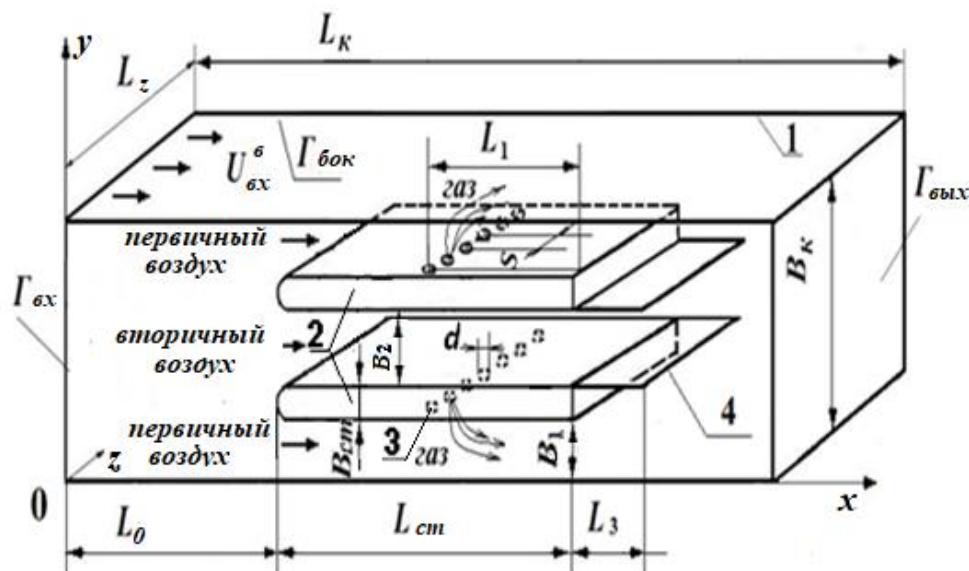


Fig. 1. Scheme of the stabilizer-type microjet burner module with asymmetric fuel supply: 1 – flat channel; 2 - flame stabilizers; 3 - gas supply hole; 4 - flap

As can be seen, the module of this device consists of two flat flame stabilizers 2 located in channel 1 at some distance from each other. The jet supply of fuel in each of the stabilizers is carried out through a system of round holes 3 located on one of its side surfaces. Flame stabilizers are equipped with flat flaps 4 mounted on their end surfaces. The main functions of these flaps are as follows. Firstly, in facilitating the formation of stable zones of reverse currents in the aft regions of the stabilizers, which are responsible for stabilizing the flame. Secondly, in the implementation of two-stage combustion, the first stage of which is carried out in the area corresponding to the location of the flap. Such a two-stage combustion scheme is designed to increase the temperature levels at the first stage of combustion and, as a result, reduce the chemical underburning of the fuel.

Computer simulation of combustion processes was carried out for three different consumption ratios of primary and secondary air. These ratios correspond to the

following widths of the near-wall  $2B_1$  and interstabilizer  $B_2$  channels:  $\beta = 2B_1/B_2 = 34,0/11,0 \approx 3,1$ ;  $27,0/18,0 = 1,5$ ;  $20/25 = 0,8$ . The flap length was set equal to 0.06 m, and the distance  $L_1$  from the gas supply holes to the blunt rear edge of the flame stabilizer was 0.02 m. The studies were performed for different values of the excess air coefficient  $2.0 \leq \alpha \leq 4.0$ . In the course of computer simulation, the variation of  $\alpha$  was provided by changing the flow rate of natural gas at a fixed air flow rate.

Figure 2 illustrates the results of computer simulation to determine the coefficient of fuel burnup completeness  $\eta_z$  for  $\alpha = 3.0$  at different values of the ratio  $\beta$ . (Here and below,  $x^*$  is the longitudinal coordinate measured from the flame stabilizer end downstream).

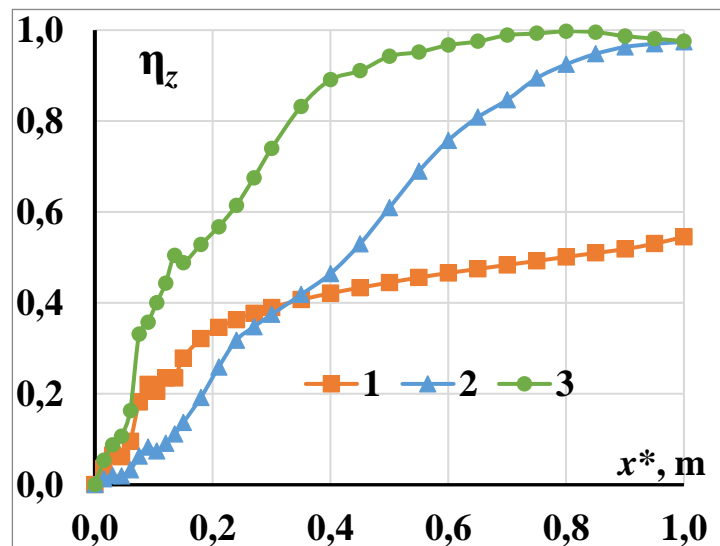


Fig. 2. Change in the coefficient of fuel burnup completeness along the length of the channel at  $\alpha = 3.0$  for different values of the ratio  $\beta$ : 1 –  $\beta = 3,1$ ; 2 –  $1,5$ ; 3 –  $0,8$ .

In Table 1 for conditions corresponding to Fig. 2, the composition of gases in the combustion products, the coefficient  $\eta_z$  and the coefficient of non-uniformity of the temperature field  $\gamma$  in the outlet section of the channel are shown ( $\gamma = \frac{T_{\max} - \bar{T}}{\bar{T} - T_{in}}$ ,  $T_{\max}$ ,  $\bar{T}$  – are the maximum and average mass temperatures in a this cross section of the channel  $x^* = \text{const}$ ;  $T_{in}$  is the air temperature at the inlet to the channel).

Table 1. The composition of gases in the combustion products and the values of the coefficient of fuel burnup completeness and the coefficient of relative non-uniformity of the temperature field at the outlet of the channel at  $\alpha = 3.0$  for different values of  $\beta$

The results obtained indicate that in the studied range of variation of the ratio  $\beta$ , the flow structure, the temperature regime of the combustion zone, and the

| $\beta$ | Indicators                 |                                  |   |          |          |
|---------|----------------------------|----------------------------------|---|----------|----------|
|         | Carbon monoxide CO, % vol. | Hydrogen H <sub>2</sub> , % vol. | Nitrogen oxides NO <sub>x</sub> , mg/m <sup>3</sup> | $\gamma$ | $\eta_z$ |
| 3,1     | 0,379                      | 0,326                            | 51,2  | 1,74     | 0,545    |
| 1,5     | 0,032                      | 0,009                            | 95  | 0,18     | 0,974    |
| 0,8     | 0,005                      | 0,002                            | 77,9  | 0,29     | 0,995    |

characteristics of fuel burnup differ significantly with varying the value of this ratio. So, according to the data shown in Fig. 2, combustion of fuel gas at  $\beta = 3.1$  is characterized by significant chemical underburning. Namely, at the exit from the channel, the completeness factor of fuel burnup  $\eta_z$  is only 0.545. At  $\beta = 1.5$ , the coefficient  $\eta_z$  increases to a value of 0.974. The highest intensity of fuel burn-up takes place at a ratio of  $\beta$  equal to 0.8.

According to the data presented in table. 1, at  $\beta = 0.8$ , the concentration of nitrogen oxides at the outlet of the channel is relatively small and amounts to 77.9 mg/m<sup>3</sup>. Thus, for the value of the excess air coefficient  $\alpha = 3.0$ , the ratio of primary and secondary air flow rates, at which high fuel combustion efficiency and low NO<sub>x</sub> emission values are realized, corresponds to the value  $\beta = 0.8$ . As can be seen from Table. 1, at  $\beta = 1.5$  there are also relatively low values of NO<sub>x</sub> and relatively high values of  $\eta_z$  at the channel outlet. However, the growth rate  $\eta_z$  along the channel length for  $\beta = 0.8$  in a significant initial section is significantly higher.

The results of the performed studies on the selection for different values of  $\alpha$  of the ratios of primary and secondary air consumption, corresponding to a high rate of fuel burnup and low emissions of toxic substances, showed the following. Under the conditions under consideration, these ratios are the same for all values of  $\alpha$  in the range ( $2.0 \leq \alpha \leq 4.0$ ) and correspond to the value of  $\beta$  equal to 0.8. As can be seen from Table. 2 and fig. 3,b for a this value of  $\beta$  at  $\alpha = 2.0$ ; 3.0 and 4.0, the factor of fuel burnup completeness  $\eta_z$  at the outlet of the channel approaches unity. At the same time, the concentration of nitrogen oxides does not exceed  $112.4 \text{ mg/m}^3$ .

On Figure 3 shows the change temperature and the fuel burnup efficiency  $\eta_z$  along the length of the channel at different values of  $\alpha$  for the  $\beta = 0.8$ , which corresponds to high fuel combustion efficiency and low  $\text{NO}_x$  emission values.

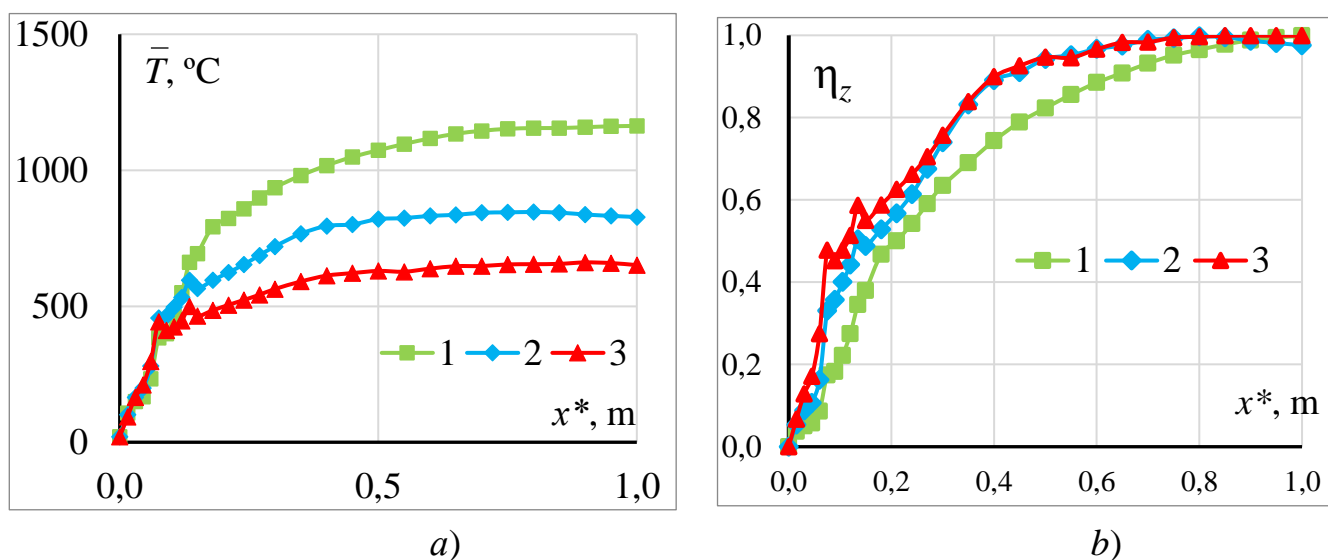


Fig. 3. Distribution along the length of the channel of the average mass temperature and the coefficient of fuel burn-up completeness  $\eta_z$  at  $\beta = 0.8$  for various values of the excess air coefficient  $\alpha$ : 1 –  $\alpha = 2.0$ ; 2 –  $\alpha = 3.0$ ; 3 –  $\alpha = 4.0$ ; a) temperature  $\bar{T}$ ; b) coefficient  $\eta_z$ .

According to the research data, at  $\beta = 0.8$  and different values of  $\alpha$ , the characteristics of the combustion process can differ markedly. Thus, for different values of  $\alpha$ , there are significant divergences in the values of average mass temperatures (Fig. 3, a). At the outlet of the channel, the temperature is  $651.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $828.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ; and  $1163 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectively, for  $\alpha = 4.0$ ; 3.0 and 2.0.

Figure 4 illustrates the corresponding temperature fields in the channel cross section. In table. 2 for the parameters corresponding to Fig. 3 - 5, data are presented on a number of energy-ecological characteristics of combustion in the outlet section of the channel.

The performed studies also showed that, under the above conditions, there are noticeable differences in the nature of the temperature fields of the combustion zone. As follows from the data presented in Fig. 4, at  $\alpha = 2.0$ , there is a significant shift of the high-temperature zone to the near-wall region of the channel. This is primarily due to the greater range of gas jets at this value of  $\alpha$ . For  $\alpha = 3.0$  and  $4.0$ , there is no such obvious asymmetry in the location of the high-temperature zone relative to the axis of the flame stabilizer.

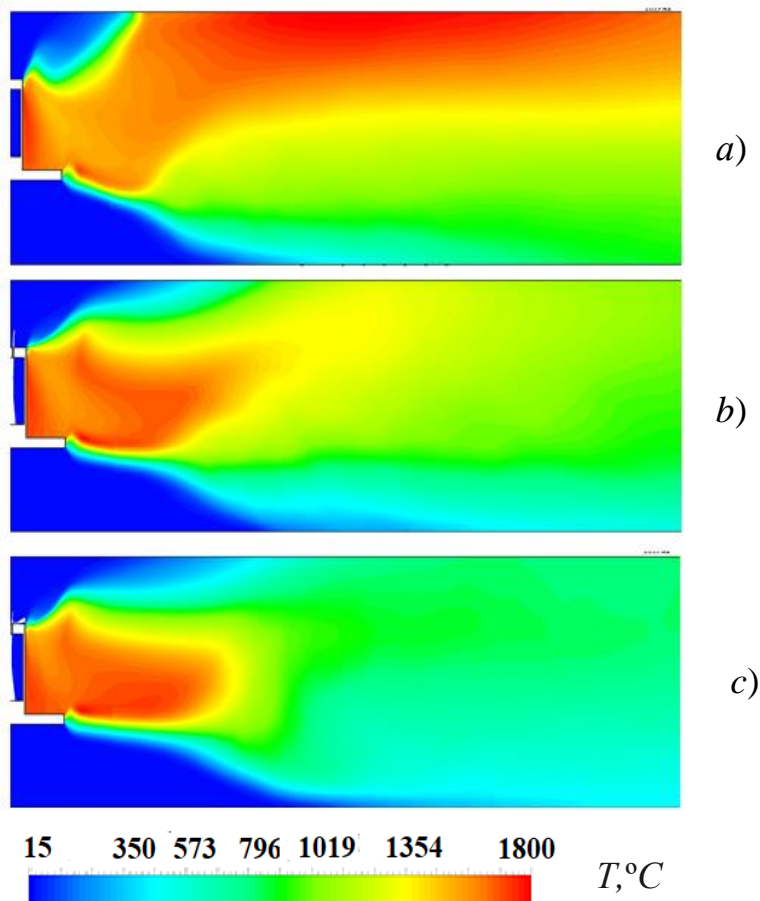


Fig. 4. Temperature field in the longitudinal section passing through the axis of the gas supply holes, at  $\beta = 0.8$  for different values of the air excess coefficient  $\alpha$ : a)  $\alpha = 2,0$ ; b)  $\alpha = 3,0$ ; c)  $\alpha = 4,0$ .

Table 2. The composition of gases in combustion products and the values of the coefficient of fuel burnup completeness and the coefficient of relative non-uniformity of the temperature field at the outlet of the channel at  $\beta = 0.8$  for various values of the excess air coefficient  $\alpha$

| Excess air coefficient, $\alpha$ | Indicators                 |                                  |   |          |          |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|---|----------|----------|
|                                  | Carbon monoxide CO, % vol. | Hydrogen H <sub>2</sub> , % vol. | Nitrogen oxides NO <sub>x</sub> , mg/m <sup>3</sup> | $\gamma$ | $\eta_z$ |
| 2,0                              | 0,125                      | 0,067                            | 112,4   | 0,42     | 0,999    |
| 3,0                              | 0,005                      | 0,002                            | 77,90   | 0,29     | 0,995    |
| 4,0                              | 0,015                      | 0,002                            | 70,78   | 0,27     | 0,999    |

The place of secondary air supply was regulated by changing the length of the flap  $L_f$  installed on the end surface of the flame stabilizer. When conducting research, the flap length varied within  $0.045 \leq L_f \leq 0.09$  m. The upper limit of this range was determined from considerations of the structural strength of the burner.

In Table. 3 and in fig. 5., as an example, are the results of studies that correspond to  $\alpha = 3.0$  and  $\beta = 1.5$ .

Table 3. Composition of gases in combustion products and values of fuel burnup completeness coefficient and coefficient of relative non-uniformity of the temperature field at  $\beta = 1.5$  and  $\alpha = 3.0$  for different values of  $L_f$ .

| Length of the flap $L_f$ , 10 <sup>-3</sup> m | Indicators                 |                                  |   |          |          |
|---|----------------------------|----------------------------------|---|----------|----------|
|   | Carbon monoxide CO, % vol. | Hydrogen H <sub>2</sub> , % vol. | Nitrogen oxides NO <sub>x</sub> , mg/m <sup>3</sup> | $\gamma$ | $\eta_z$ |
| 45  | 0,215                      | 0,147                            | 70,1  | 0,39     | 0,896    |
| 60  | 0,032                      | 0,009                            | 95  | 0,18     | 0,974    |
| 90  | 0,069                      | 0,047                            | 79,6  | 0,16     | 0,983    |

Figure 5 illustrates the fields of temperature fluctuations in the longitudinal section passing through the axis of the gas supply holes for different values of the flap length  $L_f$ .

According to the results of the studies performed, it was found that the length of the flap  $L_f$ , which determines the place of supply of secondary air to the flame, has a significant influence on the characteristics of the flow, the temperature regime of the combustion zone, the composition of combustion products, etc. in the astern areas of the flame stabilizers. Namely, with an increase in  $L_f$  from 0.045 m to 0.06 m, there is a noticeable increase in the length of the zone of reverse currents in this area - from 0.024 m to 0.059 m. A further increase in the length of the flap  $L_f$  to 0.09 m, on the contrary, leads to a significant reduction of the length of this zone - up to 0.023 m.

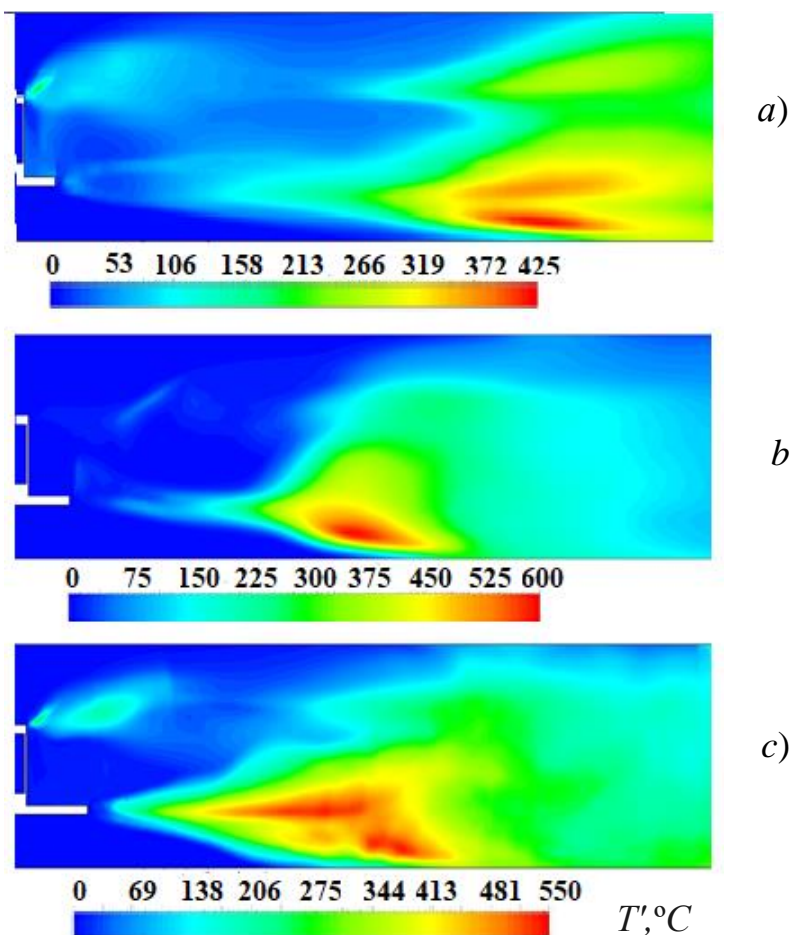


Fig. 5. Fields of temperature fluctuations  $T$  in the longitudinal section passing through the axis of the gas supply holes, at  $\beta = 1.5$  and  $\alpha = 3.0$  for different values of the flap length,  $L_f$ : a)  $L_f = 0.045$  m; b)  $L_f = 0.06$  m; c)  $L_f = 0.09$  m.

A number of characteristics of the heat state of the combustion zone also turn out to be qualitatively different for distinct values of  $L_f$ . As can be seen from fig. 5, for

the  $L_f$  values under consideration, the patterns of the fields of root-mean-square temperature fluctuations differ significantly. With an increase in  $L_f$ , the zones of increased values of temperature fluctuations approach the end surface of the flame stabilizer, which corresponds to an earlier homogenization of the combustion zone along the flow.

As for the process of fuel burnout, as can be seen from Table. 3, the coefficient  $\eta_z$  increases with the length of the flap  $L_f$ . Moreover, an increase in  $L_f$  from 0.045 m to 0.06 m leads to a noticeable increase in  $\eta_z$  at the channel outlet, from 0.896 to 0.947. As for the further increase in  $L_f$  from 0.06 m to 0.09 m, here the increase in  $\eta_z$  is insignificant - from 0.947 to 0.983. At the same time, for all considered values of  $L_f$ ,  $\text{NO}_x$  emission does not exceed the limits of modern strict standards.

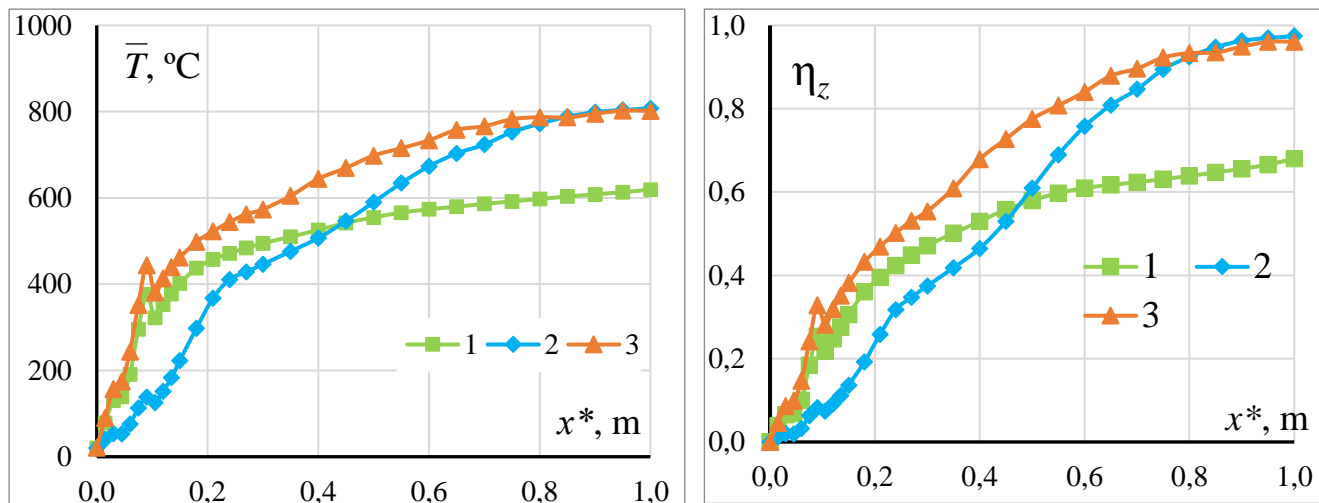
Thus, on the basis of the performed studies, it can be concluded that the coordinate of the place where secondary air is fed into the flame, which is controlled by the length of the flap  $L_f$ , must exceed a certain value. For the conditions under consideration, this value is 0.06 m.

Let us further consider the results of studies concerning the influence on the characteristics on the combustion characteristics of distance  $L_1$  from the gas supply holes to the blunt rear edge of the flame stabilizer. In the framework of the studies performed, the value of distance  $L_1$  varied from 0.01 to 0.03 m.

As an example, below are data for a situation that meets the following parameters:  $\beta = 1.5$ ;  $L_f = 0.06$  m;  $\alpha = 3.0$ .

In Figures 6, 7 and in Table 4 shows the characteristic results of the performed studies for the values  $L_1 = 0.01$ ; 0.02 and 0.03 m.





a)

b)

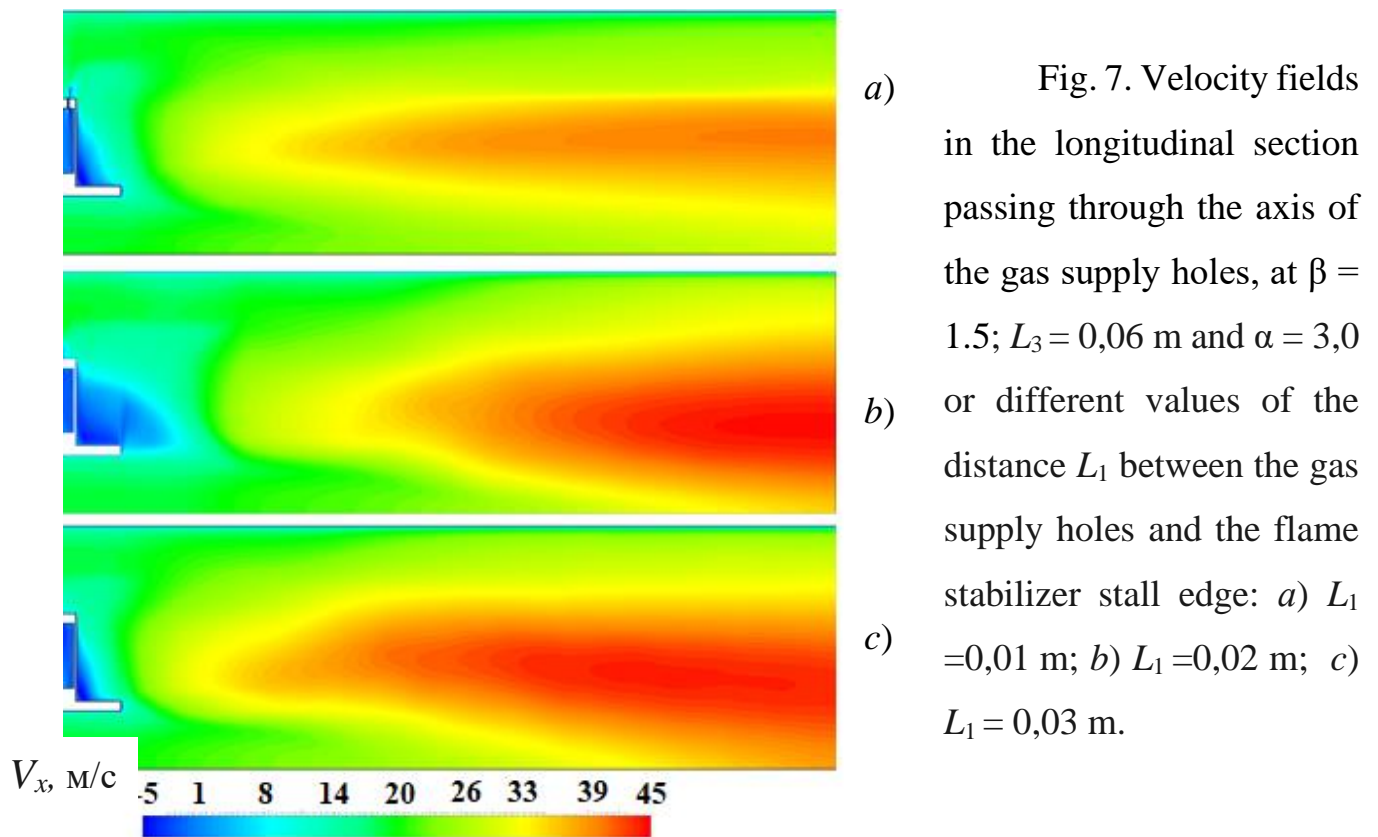
Fig. 6. Distribution along the length of the channel of the mass-average temperature and the coefficient of fuel burn-up completeness  $\eta_z$  at  $\beta = 1.5$ ;  $L_f = 0,06$  m and  $\alpha = 3.0$  for different values of distance  $L_1$ : 1 –  $L_1 = 0,01$  m; 2 –  $L_1 = 0,02$  m; 3 –  $L_1 = 0,03$  m; a) temperature  $\bar{T}$  : b) coefficient  $\eta_z$ .

Figure 6 illustrates the change along the length of the channel of the mass-average temperature  $\bar{T}$  and the coefficient of fuel burn-up completeness  $\eta_z$ . On fig. 7 shows the velocity fields in a longitudinal section passing through the axes of the gas supply holes.

According to the data obtained, when the value of  $L_1$  varies, the flow structure, the heat state of the combustion zone, the level of emission of nitrogen oxides, etc., undergo significant changes. As can be seen from the simulation results shown in Figs. 7, there is a noticeable difference in the velocity fields corresponding to different values of  $L_1$ . Significantly different in size are the zones with reduced values of velocity in the astern regions of the flame stabilizers. In high velocities zones located at some distance from the stabilizer, the speed levels are ranked as follows. The lowest velocities correspond to  $L_1 = 0.01$  m, the higher velocities correspond to  $L_1 = 0.02$  m, and the highest velocities correspond to  $L_1 = 0.03$  m.

Table 4. The composition of gases in the combustion products and the values of the coefficient of fuel burnup completeness and the coefficient of relative non-uniformity of the temperature field at the outlet of the channel at  $\beta = 1.5$ ;  $L_f = 0,06$  m and  $\alpha = 3,0$  for different value of  $L_1$ .

| Fuel distribution system parameter<br>$L_1, \text{ m}$ | Indicators                    |  |  |          |          |
|--|-------------------------------|--|--|----------|----------|
|  | Carbon monoxide<br>CO, % vol. | Hydrogen<br>H <sub>2</sub> , %<br>vol. | Nitrogen oxides NO <sub>x</sub> ,<br>mg/m <sup>3</sup> | $\gamma$ | $\eta_z$ |
| 0,01   | 0,616                         | 0,495                                  | 52,6   | 0,74     | 0,68     |
| 0,02   | 0,032                         | 0,009                                  | 95   | 0,18     | 0,974    |
| 0,03   | 0,12                          | 0,052                                  | 74,8   | 0,12     | 0,965    |



As evidenced by the obtained data, there is also a noticeable difference in the patterns of change of the average mass temperature along the length of the channel at

different values of  $L_1$ . At the same time, the fact of a pronounced correlation between the nature of the change in the average mass temperature and the coefficient of fuel burnup completeness  $\eta_z$  for different values of the distance  $L_1$  attracts attention (compare the data in Fig. 6, *a* and Fig. 6, *b*).

It is also important to note that at  $L_1 = 0.01$  m, the required level of completeness of fuel burnup is not observed. (The value of  $\eta_z$  at the channel exit is only 0.68). Increasing  $L_1$  to 0.02 m and 0.03 m makes it possible to achieve the result of high values of  $\eta_z$ , which are 0.974 and 0.965, respectively (Table 4). At the same time, for two  $L_1$  appointments, the levels of  $\text{NO}_x$  content appear very low (95.0 and 74.8 mg/m<sup>3</sup>, respectively).

Thus, in order to achieve high energy-ecological efficiency of the burner devices, the geometric parameter of the fuel distribution system  $L_1$  should be 0.02...0.03 m in the investigated range of change in the excess air coefficient  $\alpha$ .

## **6.2 Efficiency of air heat-recovery equipment for glass furnaces**

The problem of saving fuel and energy resources is becoming increasingly important for many industrial enterprises in Ukraine. The cost of energy resources for the production of industrial products is quite significant, especially for high-temperature industries [366-368], which include glass-making enterprises that operate glass melting furnaces. At the same time, the majority of fuel-using glass melting furnaces, in order to increase their efficiency, are equipped with regeneration (or recuperation) systems that serve to heat the combustion air. However, the flue gas temperature after such air heating equipment is still too high (usually  $300 \div 650$  °C [367]).

One of the ways to increase the energy efficiency of glass-making industries, and hence save energy resources, is a deeper utilization of their thermal emissions through the use of heat-recovery technologies. As the main equipment of heat-recovery technologies, for example, glass melting furnaces, hot water heat-recovery units have traditionally been used, in which water is usually heated for heating and hot water supply of glass factories and adjacent residential and industrial facilities. [369-371]. The effectiveness of such technologies is insufficient due to the limited need for heat energy in the form of hot water and the seasonality of its consumption in the heating system. Mostly, the waste heat potential of modern glass melting furnaces is higher compared to that used in traditional heat-recovery technologies for heating water. An increase in the duration of operation of waste heat-recovery systems during the year can be achieved by using it to preheat combustion air before it enters the furnace regenerators.

Until recently, the installation of surface air-heating heat exchangers behind industrial furnaces was problematic due to the significant dimensions and cost of this equipment. However, recently, new designs of air-heating heat exchangers, the so-called terminal heat exchangers, have been developed, which, due to year-round use, can compete with hot water heat exchangers [372].

The aim of the work is to study the efficiency of using fuel heat in heat-recovery systems for recovering waste heat from gas-fired glass melting furnaces by using the developed air-heating heat-recovery exchanger – the terminal recuperator.

To achieve the goal, it was necessary to solve the following research tasks:

- develop software and carry out calculations of the thermal regime of regenerators of glass melting furnaces without the use of heat-recovery systems;
- develop an efficient design of the terminal recuperator;
- perform computational studies of the thermal performance of the system, "regenerator - terminal recuperator" and determine its efficiency indicators.

The well-known methods of thermal calculation of heat exchangers of regenerative and surface types [373, 374], as well as the results of our own studies of the dynamics of the dust content of the working surfaces of heat-recovery units of glass melting furnaces, were used [371].

Computational studies were carried out for regenerative glass melting furnaces for the production of container products. When carrying out these studies, the value of the initial temperature of flue gases at the inlet to the terminal recuperator corresponded to the calculated values of the final temperature of these gases at the outlet of the regenerator when air already heated to a certain temperature enters to the regenerator.

A schematic circuit of the use of the heat of waste gases of a regenerative glass melting furnace for heating combustion air in the terminal recuperator is shown in Fig. 1.

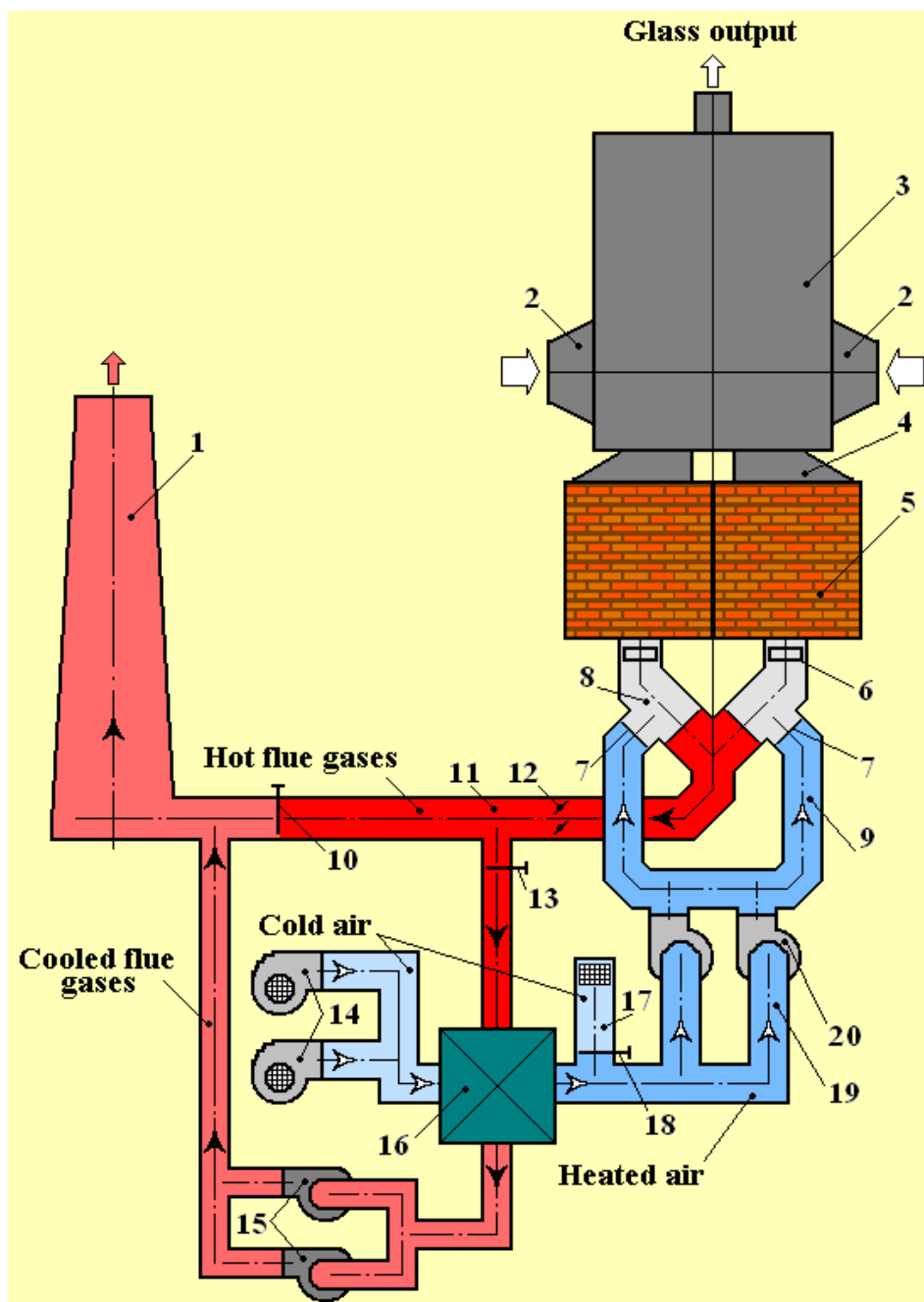


Figure 1. Scheme of waste heat recovery from glass melting furnace:

- 1 – chimney; 2 – loading pocket; 3 – brewing part of the furnace; 4 – burner device; 5 – regenerator; 6, 7 – transfer and regulating gate; 8 – exhaust-gas channels; 9 – air channels; 10, 13, 18 – shut-off gate; 11 – exhaust-gas ducts; 12 – block of rotary gates; 14, 20 – blowers; 15 – exhaust-gas exhausters, 16 – terminal recuperator, 17 – air intake from the atmosphere; 19 – preheated air duct (from recuperator).

The main initial data for performing thermal calculations of the regenerator and the terminal recuperator are shown in Table 1.

Table 1.

The main initial data of the regenerator and the terminal recuperator

| Name of the indicator, dimension   | Indicator value |
|--|-----------------|
| Flue gas consumption, kg/s   | 2.3             |
| Air consumption, kg/s  | 2.1             |
| The outlet temperature of flue gases from regenerator (at the entrance to the recuperator), °C | 400 ÷ 500       |
| The inlet temperature of air to regenerator, °C  | 200 ÷ 250       |
| The inlet temperature of air to recuperator, °C  | 20              |

In the scheme shown in Fig. 1, the developed terminal recuperator (pos. 16) is used, in which, due to the cooling of the exhaust-gases, air is preheated before it enters the regenerators of furnace. On fig. 2 schematically shows its general view.

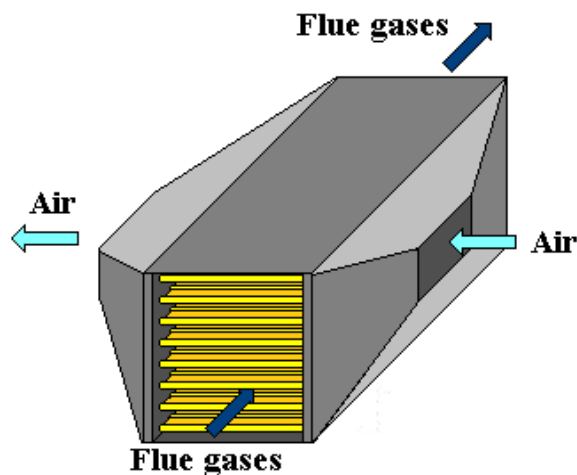


Figure 2. Schematic picture of the terminal recuperator

In the heat exchanger, air is preheated by cooling the exhaust-gases before it enters the furnace regenerator. The heat-exchange surface of this heat exchanger is assembled from packs of panels formed by pipes with membranes on the outer surfaces (Fig. 3 a, b). The panels use pipes with annular heat exchange intensifiers (Fig. 3c). The movement of heat carriers is cross with the passage of air in the pipes, and exhaust-

gases in the annulus. In these pipes, the intensification of heat transfer inside the pipes by  $1.6 \div 1.9$  times is ensured with a moderate (compared to other methods of heat transfer intensification) increase in aerodynamic resistance from the side of the heated air.

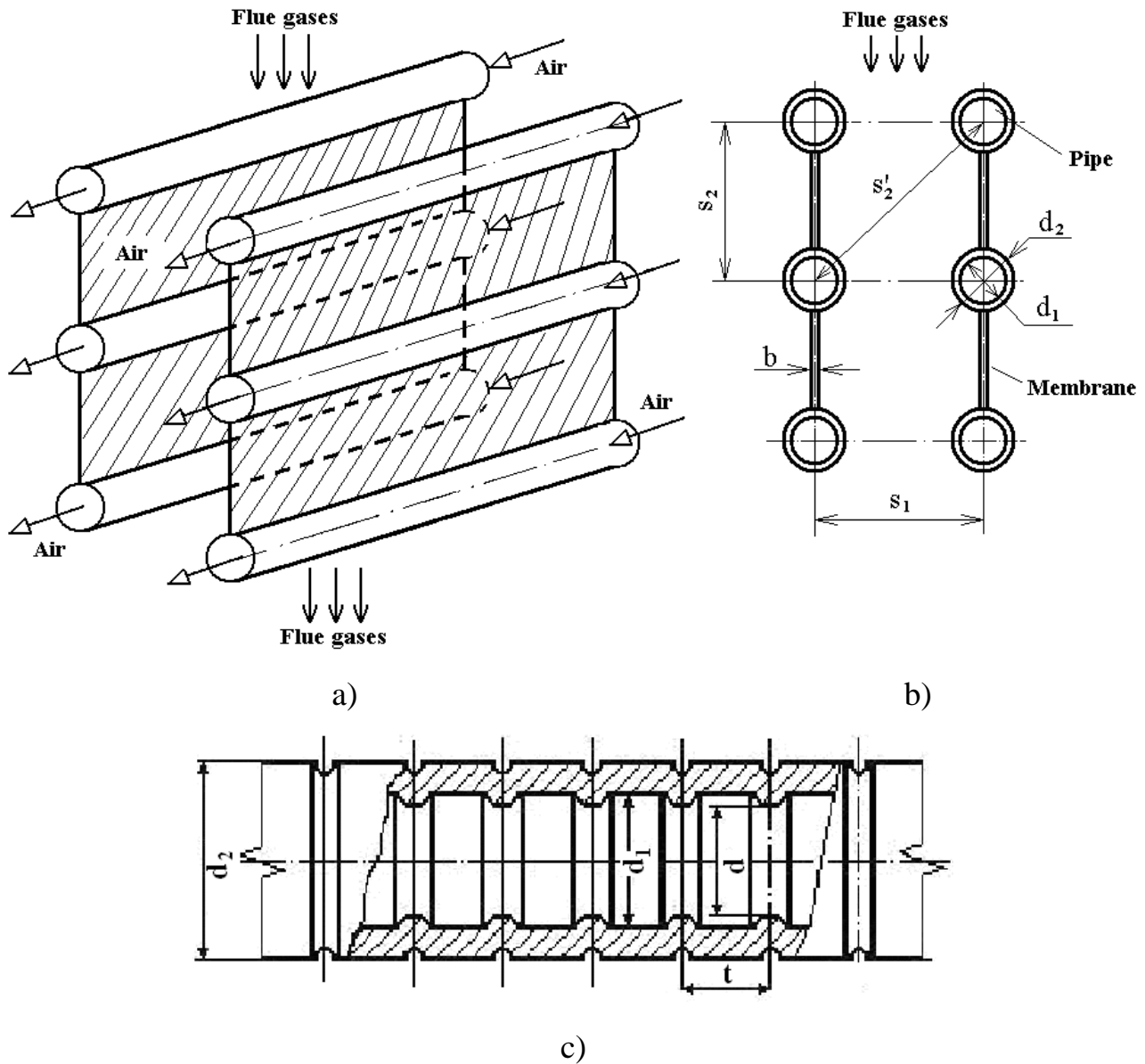


Figure 3. Membrane panels: a) – arrangement of membrane panels;  
b) – profile of the channel for the passage of flue gases; c) – pipe with annular heat exchange intensifiers



The choice of heating surfaces for furnace air heaters (terminal recuperators) is determined by the characteristics of the exhaust-gases, which are usually characterized by a high level of solid technological carryover [371].

The layout of the heating surfaces from membrane panels provides the formation of slotted channels for the passage of exhaust-gases and the possibility of organizing effective cleaning of the heat exchange surface from the side of gases from possible dust deposits. The design of the recuperator allows it to be used for industrial furnaces with high levels of flue gas dustiness and to periodically clean the heating surfaces [371, 375]. Thermal calculations of the terminal recuperator were carried out at an average level of dust content of working surfaces between cleanings.

When using heat-recovery systems, especially with hot air equipment, there is a problem of choosing structural materials for heat-recovery exchangers. According to the results of studies [371], the temperature of air heating in metal recuperators is limited by the heat resistance of the materials used. In unalloyed metal recuperators, it is advisable to heat the air no higher than 250 °C. When using alloyed steel, the cost of recuperators increases significantly. Obviously, an increase in the level of air heating in the recuperator leads to its rise in price due to an increase in the heating surface, the need to change the flow pattern of heat carriers (counterflow to forward flow) and, finally, the need to manufacture the inlet part of the heat exchanger from heat-resistant alloys or ceramics.

As calculations have shown, in Ukraine the payback period for the introduction of a recuperator for a glass melting furnace is minimal at cold air is heated by 200 °C and does not exceed 0.5 years.

When developing the design of the terminal recuperator, at the preliminary stage of work, studies were carried out due to the need to determine the optimal design parameters of membrane panels (Fig. 3) for various parameters of flow turbulence on the inner surface of the pipes. On fig. 4 shows data on the thermal efficiency of these surfaces depending on the size of the turbulators. Optimal ratios of pipe and knurling parameters correspond to the maximum heat output of membrane heating surfaces. The

studies were based on experimental data on heat transfer and hydrodynamics in pipes with annular flow turbulators found in the literature [376].

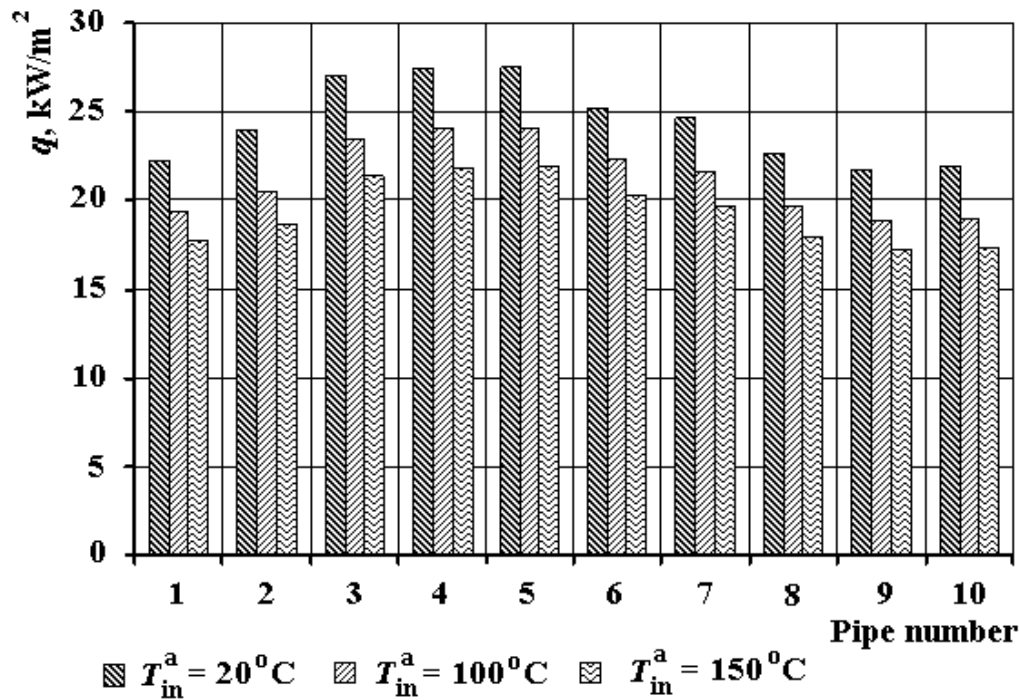


Figure 4. Specific thermal power  $q$  of the terminal recuperator depending on the parameters of the turbulators and the initial temperature  $T_{in}^a$  of the heated air:

- 1 –  $d/d_1 = 0.983$ ;  $t/d_1 = 0.496$ ; 2 –  $0.966$ ;  $0.498$ ; 3 –  $0.943$ ;  $0.497$ ; 4 –  $0.922$ ;  $0.523$ ;  
 5 –  $0.875$ ;  $0.496$ ; 6 –  $0.912$ ;  $0.992$ ; 7 –  $0.946$ ;  $0.998$ ; 8 –  $0.944$ ;  $1.987$ ;  
 9 –  $0.942$ ;  $3.989$ ; 10 – smooth pipe.

In the work, computational studies on the aerodynamic characteristics of the indicated heat exchange surfaces were carried out. On fig. 5 shows the data on the aerodynamic resistance on the air side of bundles of membrane panels from pipes with annular turbulators.

As can be seen from the diagrams, the values of the parameters of the turbulators have a significant impact on the thermal performance of the equipment under study. For the conditions of application of terminal recuperators, pipes No. 3 turned out to be the most successful for use, which provide sufficiently high thermal performance with

relatively low aerodynamic resistance. A somewhat lower, but acceptable efficiency in this respect is characterized by heat exchange surfaces with pipes No. 2 and No. 7.

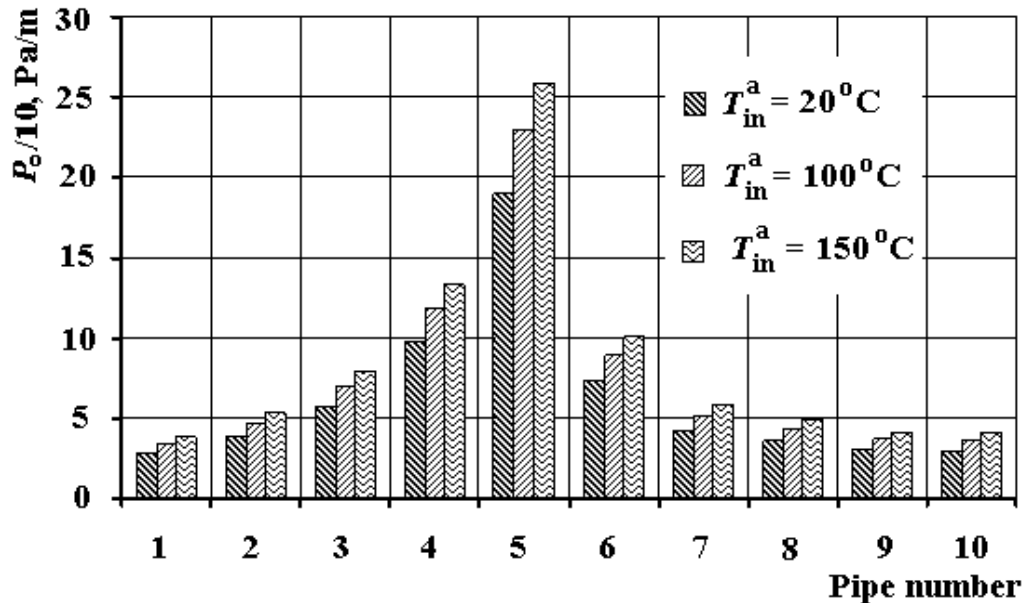


Figure 5. Aerodynamic air resistance  $P_o$  of the heat exchange surface of the terminal recuperator depending on the parameters of the turbulators and the initial temperature

$T_{in}^a$  of the heated air:

- 1 –  $d/d_1 = 0.983$ ;  $t/d_1 = 0.496$ ; 2 – 0.966; 0.498; 3 – 0.943; 0.497; 4 – 0.922; 0.523;  
 5 – 0.875; 0.496; 6 – 0.912; 0.992; 7 – 0.946; 0.998; 8 – 0.944; 1.987;  
 9 – 0.942; 3.989; 10 – smooth pipe.

Consequently, the conducted studies made it possible to determine the optimal parameters of turbulators when they are used in membrane panels of terminal recuperators of furnaces.

Computational studies were carried out on the thermal characteristics of the terminal recuperators for the one shown in Fig. 1 heat-recovery system when using this heat-recovery equipment during the entire period of operation of the furnace. The results of calculations in the characteristic range of ambient temperatures during the year are given in Table 2.

The results obtained indicate that the use of terminal recuperators can significantly increase the efficiency of the furnace by cooling the exhaust-gases leaving the furnace regenerators. As can be seen from Table 2, under the considered conditions

IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF  
ENGINEERING

during the operation of the terminal recuperators, the waste gases are cooled by 180 °C, and the combustion air is heated by 200 °C.

Table 2.

Technical characteristics of the terminal recuperator

| Name of the indicator, dimension               | Indicator value |
|--|-----------------|
| Thermal productivity, kW                       | 430             |
| Flue gas consumption, kg/s                     | 2.3             |
| The coefficient of excess air in gases         | 1.2             |
| The inlet temperature of flue gases, °C        | 500             |
| The outlet temperature of flue gases, °C       | 320             |
| Air consumption, kg/s                          | 2.1             |
| The inlet temperature of air, °C               | 20              |
| The outlet temperature of air, °C              | 220             |
| Aerodynamic resistance of gases, Pa            | 350             |
| Aerodynamic resistance of air, Pa              | 400             |
| Overall dimensions, mm:                        |                 |
| length   | 2800            |
| width  | 1500            |
| height   | 3200            |
| Mass, t  | 4200            |
| Efficiency of the regenerator                  | 39.0            |
| Efficiency of the recuperator                  | 9.0             |
| Efficiency of the regenerator with recuperator | 48              |

This makes it possible to reduce the consumption of fuel for the furnace, which is spent on heating the air to a temperature of 200 °C. At the same time, a decrease in fuel consumption per furnace does not directly correspond to an increase in the efficiency of the recuperator, but is somewhat lower. This is due to some decrease in the efficiency of the regenerator when heated air enters it.

Conclusions:

1. It is proposed to use in heat-recovery systems for fuel-using industrial furnaces of a regenerative type new air-heating equipment (terminal recuperator), the heat exchange surface of which is composed of panels formed by pipes with heat transfer intensifiers on the inside and membranes on the outside. This design makes it possible to effectively clean the working surfaces of the heat exchanger from deposits of process dust contained in the waste gases of the furnace.

2. Rational geometrical parameters of heat exchange intensifiers are determined to ensure high thermal efficiency of the recuperator.

3. It is shown that the use of terminal recuperators in the "regenerator-recuperator" system provides a total increase in the efficiency of the furnace by 48 %, where 39 % is an increase in efficiency in the regenerator, and 9 % – in the recuperator.

### **6.3 Автоматизовані системи комплексної технічної діагностики енергетичних об'єктів із застосуванням архітектури «класної дошки»**

До теперішнього часу основна увага в енергетиці України приділялася автоматизації завдань технологічного управління процесами та об'єктами, тобто створення АСУ ТП на рівні енергоблоків, електростанцій і енергосистем. У результаті був досягнутий певний техніко-економічний ефект у частині підвищення безпеки, надійності й економічності електростанцій; поліпшення умов праці персоналу; підвищення культури експлуатації та інших чинників. Що ж стосується завдань економічного керування і контролю діагностичного стану енергообладнання, що знаходиться в експлуатації, то їх автоматизація в складі АСУ електростанцій обмежується окремими прикладами. Водночас необхідність автоматизації цих завдань з метою підвищення ефективності енерговиробництва, попри актуальність, поки що не реалізована повною мірою.

Складні об'єкти, до яких відносять енергоблоки ТЕС і АЕС, характеризуються різноманіттям структури, багатозв'язністю; можливістю зміни складу і стану, різноманіттям природи елементів, багатокритеріальністю і багатомірністю [377].

Практика показує, що досягнення максимального ефекту при мінімальних витратах досягається при переході на стратегію технічної експлуатації елементів електростанції (включаючи їх постанову на технічне обслуговування і / або вивід до ремонту) за фактичним технічним станом.

Адекватне діагностичне забезпечення означає, перш за все, можливість отримання якісної вихідної інформації щодо параметрів і властивостей технічного стану елементів, важливих для безпечної та надійної експлуатації ТЕС та АЕС, з подальшим переходом до прогнозування їх наявного (залишкового) ресурсу до граничного стану, а також ймовірнісної оцінки економічного й екологічного ризику можливих аварій.

Автоматизована система комплексної технічної діагностики (АСК ТД), що розробляється для будь-якого енергетичного об'єкта, повинна розглядатися як

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

цілісний комплекс, на якому необхідно вирішувати завдання функціонального, методичного, алгоритмічного, інформаційного, програмно-технічного й організаційного забезпечення.

Якщо в якості об'єкта АСК ТД розглядати енергоблок як основний структурний елемент електростанції, то завдання, які будуть вирішені, можуть бути умовно розділені на дві основні групи, одна з яких включає завдання оперативного діагностування, спрямованого на поліпшення поточних експлуатаційних характеристик обладнання, а інша – включає оперативне діагностування й одночасно спрямована на визначення темпу спрацьовування і прогнозування залишкового ресурсу основних елементів обладнання з урахуванням фактичних характеристик конструкційних матеріалів.

Вирішальною умовою реалізації завдань діагностування є ретельне опрацювання системних питань створення АСК ТД. До числа вимог, які безумовно повинні бути пред'явлені до систем подібного роду відносяться:

- забезпечення приживлюваності діагностичних завдань;
- забезпечення працездатності та надійного функціонування завдань, стійкості їх до дії систематичних і випадкових помилок, а також відмов у каналах вимірювань;
- можливість тиражування системи;
- комплексний характер вирішення діагностичних завдань в їх взаємозв'язку, обумовленим єдністю технологічного процесу енергоблока;
- максимальне використання засобів обчислювальної техніки в прийнятті діагностичних рішень, відборі та концентрації інформації;
- можливість кількісного аналізу якості та результатів роботи діагностичної системи.

Як відомо, АСУ ТП орієнтована на безпечну, надійну й економічну експлуатацію електростанцій. Об'єктом застосування АСК ТД є технічний стан обладнання, технічних процесів та їх поведінки під дією різних експлуатаційних навантажень, включаючи ефекти, пов'язані зі старінням обладнання. Очевидно,

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

що АСК ТД повинна бути зістикована з АСУ ТП з урахуванням технічного, людського та організаційного факторів.

Система контролю й управління енергоблоком повинна забезпечувати автоматичну і / або автоматизовану діагностику стану і режимів експлуатації, в тому числі й самодіагностику технічних і програмних засобів.

Для здійснення автоматизованого моніторингу, діагностики та інформаційної підтримки життєвого циклу обладнання енергоблоків може бути використана концепція «класної дошки» [378].

Концепція «класної дошки» була запропонована в 80-х роках ХХ століття з метою розробки розподілу потоків інформації між безліччю гетерогенних проблемно орієнтованих агентів. Назва була вибрана для використання метафори, згідно з якою група експертів розташовується навколо класної дошки для спільного розв'язання комплексної проблеми. В цьому випадку класна дошка використовується як центральне сховище всієї загальнодоступної інформації. Такою інформацією можуть бути факти, припущення і висновки, які сформульованні системою в ході розв'язання проблеми. Кожен експерт, спираючись на інформацію, вміщену на класній дошці, робить свій унікальний внесок у хід розв'язання проблеми, використовуючи власну стратегію пошуку рішення.

Крейда для запису нової інформації на класну дошку контролюється модератором, який виконує роль арбітра між експертами, що конкурують за право зробити запис. Функція модератора – визначити, який експерт в цей момент часу більше всіх проник в суть проблеми або зробив найбільш вагомий висновок.

Сесія розв'язання проблеми починається з моменту опису модератором на «класній дошці» специфікації проблеми із зазначенням відомих фактів і припущень. Як тільки один з експертів виявляє сприятливу можливість для застосування його спеціальних знань до розв'язання проблеми в її поточному описі, він вимагає уваги модератора. Модератор вибирає серед висновків і пропозицій експертів, які привернули його увагу на даному етапі обговорення,



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

найзначніші та завдає їх на дошку. Цей процес повторюється багато разів до тих пір, поки проблема не буде вирішена.

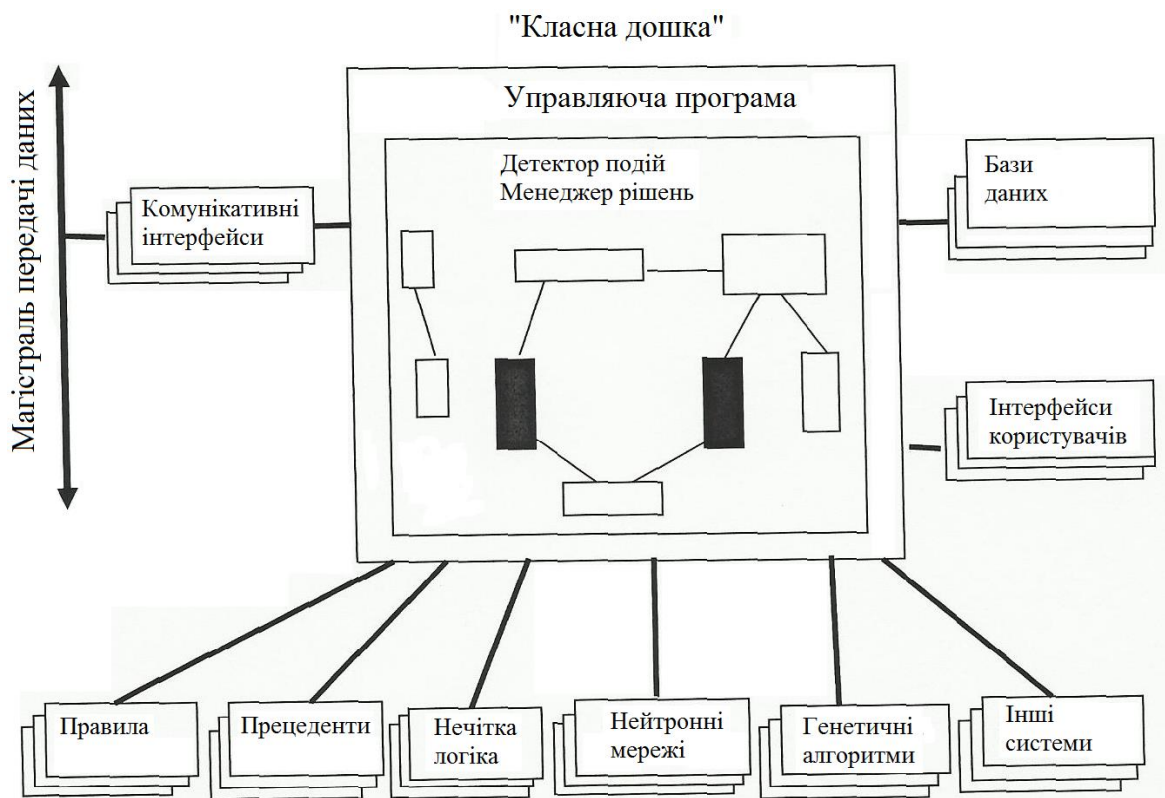
На відміну від звичайних експертних систем, що обмежують уявлення знань єдиною парадигмою, архітектура «класної дошки» має унікальну здатність об'єднувати будь-які методи та засоби обробки знань: від систем, основаних на звичайних математичних залежностях і жорстких правилах, до систем, що реалізують елементи штучного інтелекту або парадигму нечіткої логіки. Більш того, архітектура «класної дошки» легко взаємодіє з будь-якими програмними платформами без необхідності суттєвих витрат часу і коштів на їх перероблювання і модифікацію наявний на електростанції програмного забезпечення. Як правило, це веде до швидкого впровадження системи з мінімальними затримками на налагодження.

На малюнку 1 показана схема одного з можливих варіантів реалізації архітектури «класної дошки» для енергетичних об'єктів.

У більш точному варіанті «класна дошка» може бути охарактеризована як база даних, що зберігає робочу інформацію системи розв'язання проблем. Експерти – модульні програмні підсистеми, звані ресурсами знань, які реалізують різні точки зору на проблему, різні стратегії її дозволу і засновані на різних видах обробки інформації. Такими експертними модулями-ресурсами знань можуть бути:

Системи, засновані на правилах;

- системи, засновані на прецедентах;
- нейронні мережі;
- системи з нечіткою логікою;
- системи, що реалізують генетичні алгоритми;
- традиційні (звичайні процедурні) програмні системи.



Мал.1. Структурна схема реалізації архітектури «класної дошки»

Модератор представлений програмою, що керує, яка складається з детектора подій і менеджера рішень. Програма організовує взаємодію між базою даних, ресурсами знань і зовнішніми джерелами інформації, такими як користувачі, модулі моніторингу та діагностики, а також інші інформаційні системи електростанції. Детектор подій оновлює базу даних інформацією від зовнішніх джерел. Менеджер рішень вибирає і заносить в базу даних інформацію, надану ресурсами знань, таким чином, щоб кожний наступний запис уточнював попередні.

У наукових колах застосування і розвиток експертних систем архітектури «класної дошки» визнано надзвичайно перспективним напрямком інвестування засобів і докладання зусиль розробників, які обіцяють значний економічний ефект від впровадження. На базі такої архітектури може бути створена потужна, надійна, гнучка система загального призначення, придатна для використання в широкому діапазоні предметних областей.

Для розробників така система надає цілий ряд безперечних переваг:

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

1) інтеграція різних ресурсів знань, чітко контрольованих програмою, що керує;

2) модульність – кожен з ресурсів знань незалежний від інших, що суттєво полегшує розробку, розвиток і підтримку системи;

3) гнучкість – архітектура «класної дошки» дозволяє адаптувати додатки до мінливих вимог набагато більш гнучко і легко, ніж звичайне процедурне програмне забезпечення;

4) повторне використання програм, котре досягається трьома шляхами:

- незалежність і модульність ресурсів знань передбачає, що наявні ресурси знань можуть бути досить просто впроваджені в новий додаток;

- раніше інвестовані в традиційне програмне забезпечення засоби можуть бути збережені, оскільки це програмне забезпечення впроваджується в систему у вигляді ресурсу знань;

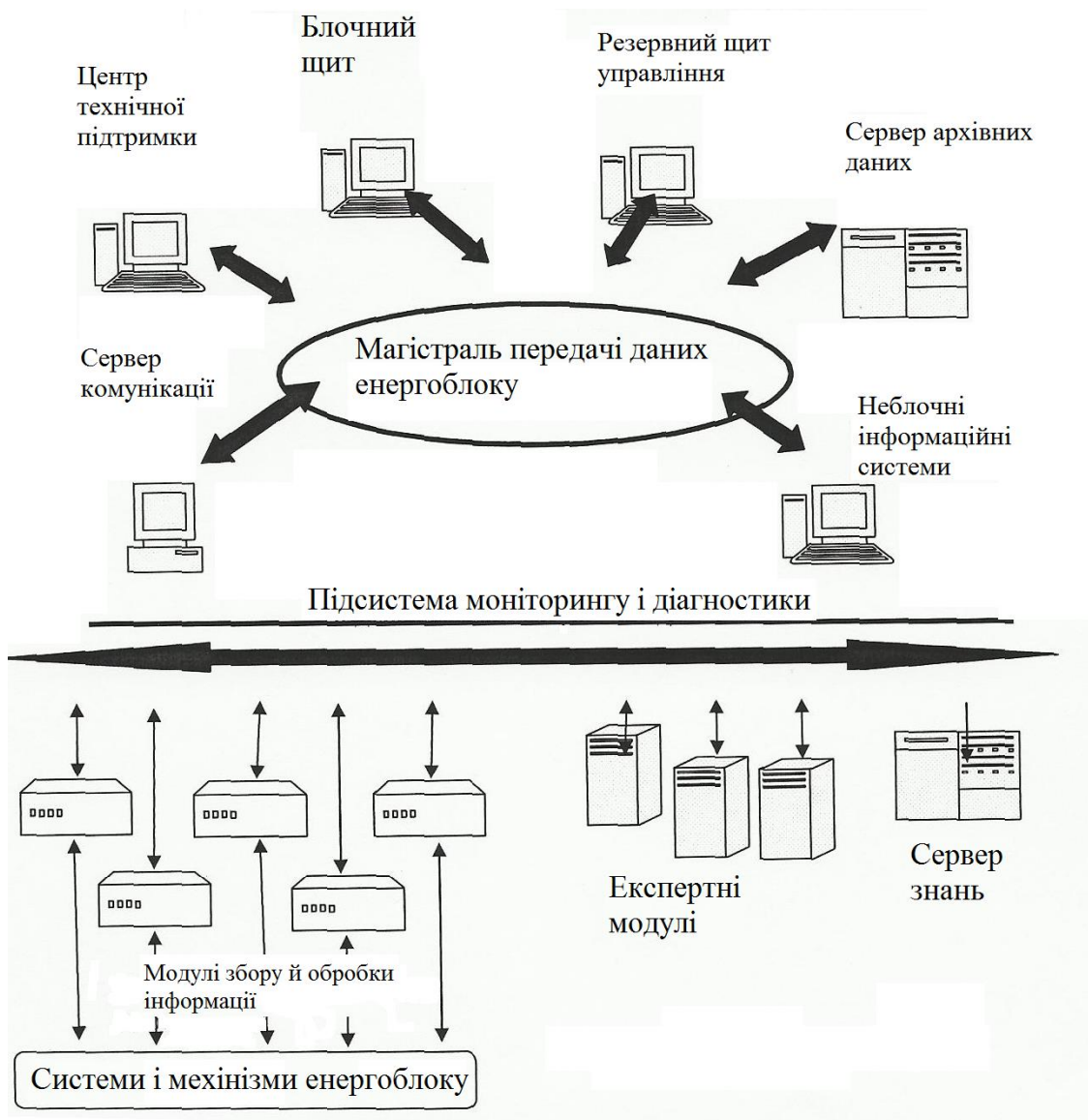
- архітектура «класної дошки» є програмно-незалежною і може бути легко застосована до нових прикладних областей;

5) масштабованість – нові ресурси знань можуть бути розроблені та впроваджені в наявну систему без внесення в неї будь-яких змін.

Можливі області застосування архітектури «класної дошки» включають високорозвинені системи безпеки та моніторингу обладнання підприємств, системи діагностування зносу виробничого обладнання, а також системи планування використання виробничих ресурсів.

На малюнку 2 наведений принцип реалізації архітектури «класної дошки» для енергоблоків електростанцій.

# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



Мал. 2. Принцип реалізації архітектури «класної дошки» для енергоблоків електростанцій

Персонал електростанції в наочному вигляді та в логічно організованому порядку отримує інформацію, яка характеризує поточний стан обладнання енергоблока, що працює. Крім надання екранних форм, графіків і таблиць, система формує короткі висновки щодо функціонування та технічного стану устаткування, засновані на використанні підключаємо експертних модулів. Для того, щоб надати персоналу можливість максимально раннього виявлення пошкоджень обладнання і порушень в його роботі, до системи можуть підключатися складні спеціалізовані програмні модулі.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Шляхом відстеження параметрів функціонування різних систем і механізмів, виконується раннє виявлення відхилень від нормального стану до того, як ці відхилення призводять до відмов і аварій. Енергогенерувальна компанія отримує економічний ефект від використання системи шляхом реалізації технічного обслуговування за станом і скорочення часу вимушених простоїв обладнання.

До типових видів інформації, які надаються системою на базі архітектури «класної дошки», відносяться наступні:

- дані щодо параметрів процесів, які надходять за технологічними та магістралях АСУ ТП, що керують, від обчислювальних систем електростанцій, і з інших джерел;

- дані моніторингу та діагностики, що вводяться як вручну, так і отримані від спеціалізованих модулів збору та обробки даних. Застосовувані модулі дозволяють отримувати відомості про такі чинники деградації обладнання, як вібрація, корозія й ерозія, напруги й втома металів і інші. Модулі можуть контролювати різні види обладнання: насоси, клапани, реактори, теплообмінники, турбіни, генератори та інше обладнання;

- дані про поточний склад обладнання;

- інформація про конструктивні характеристики обладнання: конструкторські специфікації, експлуатаційні параметри, параметри продуктивності.

- записи про експлуатацію і технічне обслуговування устаткування: архівні дані про напрацювання, несправності, заходах технічного обслуговування і ремонтах, нормативні документи, процедури та методики технічного обслуговування;

- інформація засобів планування простоїв обладнання й управління завданнями технічного обслуговування.

Програмне забезпечення характеризується простим у використанні графічним інтерфейсом користувача в поєднанні з розвиненими засобами розробки та налаштування.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Графічний інтерфейс організований таким чином, що структура наданої інформації логічно прив'язана до внутрішньої моделі обладнання електростанції. Ця модель показувати фактичну конфігурацію обладнання, в якій ієрархічно представлені всі суттєві структури, системи та компоненти, а також зв'язки між ними. Інтерфейс дозволяє користувачеві здійснювати «навігацію» по всьому обладнанню енергоблока. При цьому на кожному кроці «навігації» графічний інтерфейс зображати поточне положення користувача в структурі обладнання, логічно пов'язані з цим положенням структури, системи та компоненти, а також види доступною в поточний момент інформації.

Усі показники функціонування і продуктивності зображатися в реальному масштабі часу, що характерне також і для їх експертних оцінок не тільки для окремих одиниць обладнання, але і для систем електростанції в цілому. Подібне поєднання діагностичної та синтетичної інформації різних рівнів узагальнення дозволяє забезпечити глибоке розуміння стану обладнання станції. Найбільш важливою перевагою такого рішення є те, що інформація є керівництвом до дії для різних категорій персоналу.

Ядром підсистеми моніторингу та діагностики на базі «класної дошки» є єдине сховище даних (сервер знань), з яким оперують всі модулі, пристрої та зовнішні системи, що підключаються до підсистеми. Подібне архітектурне рішення дозволяє організувати ефективну взаємодію численних модулів, а також широкого кола комп'ютерних систем енергоблока, станції та енергогенерувальної компанії, що використовують і поповнюють загальну базу знань. При цьому нова або оновлена інформація з однієї програми стає доступною будь-яким іншим додаткам. Наприклад, прогнози відмов обладнання або систем, сформовані модулями моніторингу і діагностики, можуть стати доступними для модулів планування робіт з технічного обслуговування. В результаті, експлуатація обладнання енергоблоків може бути значною мірою оптимізована для забезпечення максимального виробництва електроенергії.

Суттєва відмінність АСК ТД на базі архітектури «класної дошки» від АСУ ТП та інших інформаційних систем, що забезпечують оперативне управління

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

енергоблоком – здатність забезпечити всебічне розуміння обслуговчим персоналом динаміки поведінки систем і устаткування електростанції. Несприятливі фактори експлуатації, виміряні модулями моніторингу і діагностики, ідентифікуються, систематизуються, зіставляються з історичними даними, з даними про поточний стан обладнання і трансформуються в прогнозну інформацію рівня систем енергоблока або станції в цілому. В результаті, створюються умови для виявлення корінних причин проблем експлуатації обладнання, можуть бути сплановані та виконані запобіжні заходи, а також вжито необхідні коригувальні заходи щодо системи технічного обслуговування. Таким чином, керівництво, інженерні служби та сервісні підрозділи електростанції опановують повний контроль над обладнанням, отримуючи можливість оптимізувати техніко-економічні показники його експлуатації та забезпечити максимальний економічний результат для енергогенерувальної компанії.

#### **6.4 Побудова енергетичних характеристик турбоустановки К-325-23,5 при відхиленні початкових параметрів пари та змінах у тепловій схемі**

Електроенергетика є ключовою галуззю для розвитку промисловості та економіки будь-якої країни світу. Якщо в країні немає своєї електричної генерації, або її недостатньо для нормального функціонування економіки – то електроенергію доводиться закуповувати за кордоном що, в свою чергу, веде до часткової залежності від постачальників. Тому кожна країна намагається розвивати свою генерацію та систему постачання електроенергії. Таким чином, економіка будь-якої країни включає в себе енергетику, в яку входять виробники, постачальники та споживачі продукції.

На даний час в Україні працює така модель ринку електроенергії, яку коротко можна описати наступним чином: енергогенеруючі підприємства постачають вироблену продукцію на оптовий ринок зв'язки, за допомогою енергопостачальних компаній, вона надходить до кінцевих споживачів. До енергогенеруючих підприємств належать атомні, теплові, гідравлічні, сонячні та вітрові електростанції. Оптовий ринок формує підприємство «Укренерго», яке виступає також у якості диспетчера об'єднаної енергосистеми України, а постачанням електроенергії кінцевим споживачам займаються обленерго. Особливістю оптового ринку є те, що для кожного енергогенеруючого підприємства існує свій тариф на закупівлю електроенергії. Такий тариф залежить в основному від собівартості виробництва енергії тим чи іншим підприємством. Так, найнижчий тариф застосовується для атомних та гідравлічних електростанцій, вищий - для теплових, і найвищий, так званий «зелений тариф» - для підприємств, що використовують відновлювані джерела енергії.

Собівартість виробництва електроенергії на теплових електростанціях залежить на ~ 90% від кількості та вартості використаного палива. Тому, для затвердження тарифу, для кожної конкретної електростанції чи навіть кожного



енергоблоку, є необхідними дані про використання палива під час генерування електроенергії. Такі дані отримують експериментальним шляхом, на основі результатів якого будуються енергетичні характеристики енергогенеруючого устаткування.

#### **6.4.1 Аналіз даних з літературних джерел**

Енергетичні характеристики електростанції складаються з характеристик основного обладнання, а також даних з використання теплової та електричної енергії на власні потреби. Основним показником досконалості перетворення енергії палива, яке спалюється в котлоагрегаті, в електричну енергію, що передається в мережу, є коефіцієнт корисної дії (ККД), або величина питомого споживання умовного палива на виробництво одиниці продукції – г.у.п/кВт. Для турбоустановки основною енергетичною характеристикою є величина питомої витрати теплової енергії пари на 1 кВт виробленої електроенергії (ккал/кВт), в залежності від навантаження енергоблоку [379]. Для її визначення необхідно провести кілька серій теплових випробувань турбоустановки при різних режимах роботи, а в подальшому провести обробку результатів цих випробувань. На цьому етапі виникає перша проблема котра полягає у тому, що результати випробувань отримані під час роботи устаткування в умовах відмінних від проектних. Також, під час випробувань складно забезпечити однакові умови роботи в різних дослідах. Друга проблема полягає у тому, що під час випробувань не можливо охопити усі режими роботи даної турбоустановки, а характеристики необхідно визначити для максимально можливого числа різних режимів і умов роботи устаткування.

Першу проблему, а саме приведення результатів випробувань до номінальних умов, на практиці прийнято вирішувати двома способами. Перший спосіб полягає у застосуванні поправочних кривих на відхилення фактичних умов під час експерименту від номінальних. Цей спосіб широко застосовується у міжнародній практиці під час проведення приймальних випробувань турбін для підтвердження гарантій виробників [380-382]. Поправочні криві в номінальному режимі роботи надаються заводом-виробником турбіни. Під час випробування

турбін зі значним терміном експлуатації використовують поправочні криві з типових енергетичних характеристик, як наприклад для турбіни К-300-240 [383]. Проте спосіб приведення результатів випробувань до номінальних умов шляхом введення окремих поправок має ряд недоліків, а саме [384]:

- обмежений набір поправок, який не охоплює усіх відмінностей дослідних умов від номінальних;

- поправки вводяться алгебраїчною сумою, при цьому не враховують взаємний вплив відхилень параметрів;

- поправки залежать від стану турбоустановки, тобто не коректно застосовувати поправки, надані заводом-виробником для нової турбіни, під час випробувань турбін з великим напрацюванням.

Другий спосіб, що використовується при обробці результатів випробувань з метою розробки нормативних енергетичних характеристик, полягає у повному перерахунку теплової схеми турбоустановки на номінальні параметри. Реалізувати цей спосіб можна шляхом розв'язання системи рівнянь, яка описує теплову схему турбоустановки.

Другу, описану вище, проблему можна вирішити шляхом проведення реального експерименту на турбоустановці, або імітаційного - на математичній моделі даної турбоустановки [385-387].

#### **6.4.2 Мета дослідження**

З метою отримання даних для розробки нормативних енергетичних характеристик устаткування, були проведені теплові випробування турбоустановки К-235-23,5 енергоблоку №1 Запорізької ТЕС. Складність полягає у відсутності попередніх експериментальних даних для даного типу турбіни, тому порівнювати результати випробувань можна лише з нормативними даними заводу-виробника. Слід також відзначити, що наявний набір поправочних кривих, наданий заводом-виробником, не охоплює усіх можливих відмінностей у тепловій схемі турбоустановки та умовах її роботи.

Для вирішення поставленої задачі необхідно розробити математичну модель турбоустановки К-325-23,5 та провести на ній дослідження роботи турбіни у нестационарних режимах, враховуючи також зміни в тепловій схемі.

#### **6.4.3 Розробка математичної моделі турбоустановки з використанням результатів теплових випробувань**

Теплові випробування турбоустановки, проводились відповідно до вимог міжнародних стандартів [380-382] і складались з кількох серій дослідів в діапазоні електричного навантаження енергоблоку від 50% до номінального 325 МВт. Сюди входили наступні серії дослідів:

- при роботі з живильною турбопомпою (ЖТП);
- при роботі з живильною електропомпою (ЖЕП);
- для визначення поправки до електричної потужності та питомої витрати теплоти на відключення групи підігрівачів високого тиску (ПВТ);
- для визначення поправки до електричної потужності турбоустановки на зміну тиску відпрацьованої пари [388].

Теплофізичні властивості пари та води були знайдені за допомогою математично описаних залежностей від тиску та температури середовища, наведених у [389].

Теплова схема турбоустановки К-325-23,5 енергоблоку ст. №1 Запорізької ТЕС з місцями замірів основних технологічних параметрів показана на рис. 1.

Отже, за результатами теплових випробувань отримано характеристики основних елементів турбоустановки: внутрішні відносні ККД  $\eta_{oi}$  циліндрів високого (ЦВТ), середнього (ЦСТ) та низького (ЦНТ) тисків; втрати тиску в паропроводах регенеративних відборів, температурні напори підігрівачів низького (ПНТ) та високого (ПВТ) тиску; приріст ентальпії живильної води в живильній pompі, ККД привідної турбіни живильної турбопомпи (ЖТП) та інші. Ці характеристики виражаються у вигляді графічних залежностей, які можна описати у вигляді математичних рівнянь. Система цих рівнянь є основою математичної моделі турбоустановки. Розв'язок цієї системи рівнянь відносно

будь-якої заданої величини, наприклад питомої витрати теплоти в номінальних умовах, можна знайти методом послідовних наближень [390].

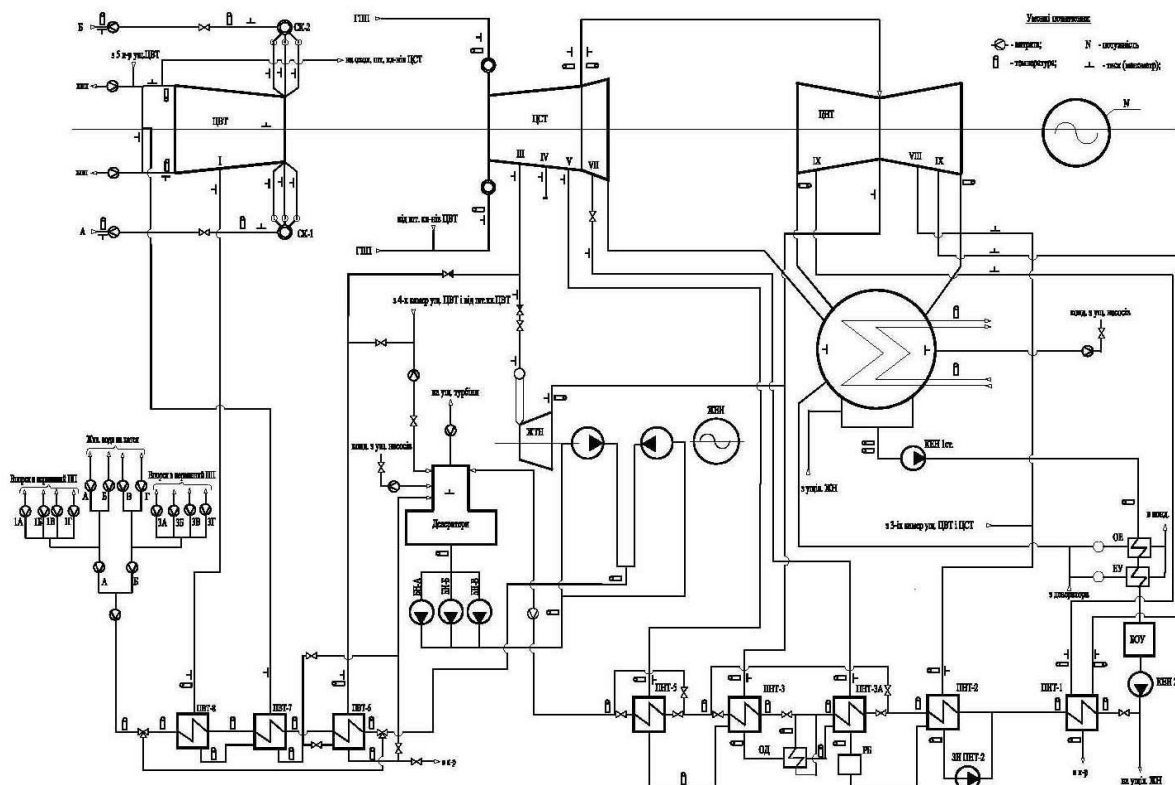


Рисунок 1. Теплова схема турбоустановки К-325-23,5 з вказаними точками вимірювання технологічних параметрів

Перерахунок теплової схеми турбоустановки на номінальні умови за допомогою математичної моделі можна здійснити двома способами: при незмінній витраті пари та при незмінному положенні органів паророзподілу [391]. Перший спосіб має суттєвий недолік: за постійної витрати свіжої пари на турбіну, при перерахунку на номінальні параметри, потрібна корекція ККД ЦВТ, котра є недостатньо точною [384]. Тому, доцільніше використовувати інший спосіб перерахунку теплової схеми - за умови незмінного положення органів паророзподілу та збереження дослідного значення ККД ЦВТ. За цієї умови витрата свіжої пари при номінальних початкових параметрах визначається за рівнянням:

$$G_0 = G_0^{doc} \cdot \sqrt{((P_0^H \cdot V_0)/(P_0 \cdot V_0^H))}, \quad (1)$$

де:  $G_0^{doc}$  – витрата свіжої пари в дослідних умовах, т/год;

$P_0^H$  – номінальний тиск свіжої пари перед ЦВТ, 240 кгс/см<sup>2</sup>;

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

$V_0$  – питомий об'єм свіжої пари в дослідних умовах, м<sup>3</sup>/кг;

$P_0$  – дослідний тиск свіжої пари перед ЦВТ, кгс/см<sup>2</sup>;

$V_0^H$  - питомий об'єм свіжої пари в номінальних умовах, 0,01336 м<sup>3</sup>/кг.

Повна витрата теплоти на турбіну в номінальних умовах  $Q_0$ , Гкал/год, визначається за рівнянням:

$$Q_0 = (G_0 \cdot (i_0^H - i_{жв}^H) + G_{хпп}^H \cdot (i_{гпп}^H - i_{хпп}^H))/10^3, \quad (2)$$

де:  $i_0^H = 793,7$  ккал/кг – ентальпія свіжої пари перед відсічними клапанами ЦВТ при номінальних початкових параметрах;

$i_{жв}^H$  - ентальпія живильної води після ПВТ і перерахунку теплової схеми на номінальні умови, ккал/кг;

$G_{хпп}^H$  - витрата пари холодного проміжного перегріву в номінальних умовах, т/год;

$i_{гпп}^H$  - ентальпія пари гарячого проміжного перегріву за температури 540 °С та тиску, які отримані після перерахунку теплової схеми на номінальні умови, ккал/кг;

$i_{хпп}^H$  - ентальпія пари холодного проміжного перегріву в номінальних умовах, ккал/кг.

Потужність турбіни в номінальних  $N_m^H = N_m^D + \Delta N_{\cos \varphi} + \Delta N_{pk} + \Delta N_{cx}$ , МВт умовах визначається за рівнянням:

$$N_m^H = N_m^D + \Delta N_{\cos \varphi} + \Delta N_{pk} + \Delta N_{cx}, \quad (3)$$

де:  $\Delta N_{cx}$  – сумарна поправка на відмінність теплової схеми та параметрів в дослідних умовах від номінальних (крім тиску відпрацьованої пари в конденсаторі та коефіцієнта потужності генератора) і зміну витрати свіжої пари на турбіну при переході на номінальні умови, МВт.

Поправка  $\Delta N_{cx}$  дорівнює різниці внутрішніх потужностей турбіни в номінальних і дослідних умовах та отримана за результатами перерахунку теплової схеми турбоустановки на номінальні умови, за допомогою математичної моделі.

Питома витрата теплоти бруто на турбіну в номінальних умовах  $q_T^H$ , ккал/кВт·год, при роботі з ЖТП, визначається за рівнянням:

$$q_T^H = \frac{Q_o^H}{N_T^H + N_{ЖТП}} \cdot 10^3. \quad (4)$$

Таким чином, отримано основну енергетичну характеристику турбоустановки – залежність повної та питомої витрати теплоти від електричної потужності при роботі з ЖТП в номінальних умовах, яка показана на рис. 2.

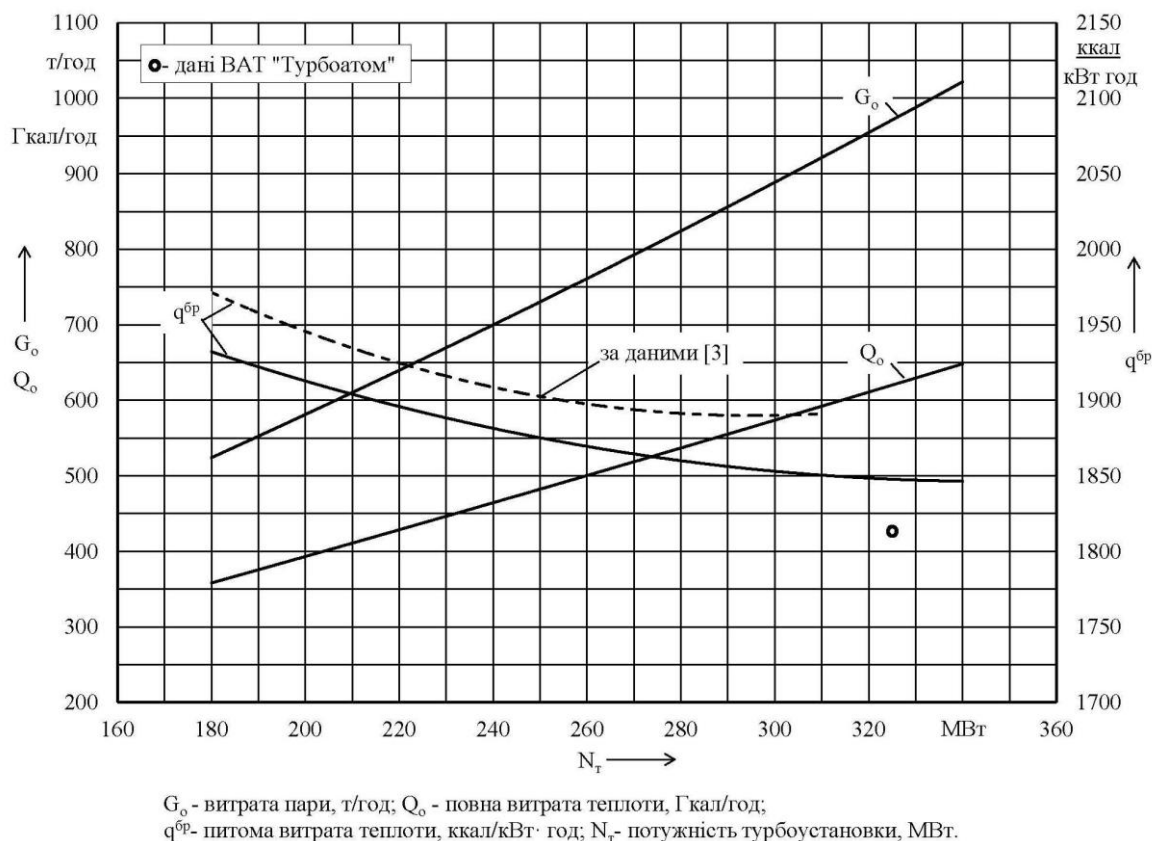


Рисунок 2. Витрата свіжої пари, повна та питома витрати теплоти на турбіну в залежності від електричної потужності при роботі з ЖТП в номінальних умовах.

Як бачимо з рис. 2 лінія залежності питомої витрати пари на турбіну К-325-23,5 (суцільна лінія) лежить нижче лінії залежності для турбіни К-300-240 (пунктирна лінія), на місце котрої вона була встановлена. Тобто, нова турбіна К-325-23,5 на 2% ефективніше перетворює кінетичну енергію пари в механічну енергію обертання вала, яка у свою чергу, перетворюється в електричну в генераторі, ніж турбіна К-300-240 на момент її встановлення.

#### **6.4.4 Імітаційний експеримент на математичній моделі турбоустановки**

Основна енергетична характеристика отримана в результаті перерахунку на математичній моделі у конкретно визначених номінальних умовах роботи. В даному випадку за номінальні умови прийнято: теплова схема турбоустановки відповідає проектній, зображеній на рис. 1; тиск свіжої пари перед турбіною – 240 кгс/см<sup>2</sup>; температура свіжої пари та гарячого проміжного перегріву – 540 °С; тиск відпрацьованої пари в конденсаторі – 0,372 кгс/см<sup>2</sup>; впорскування живильної води в проміжний перегрів – 0 т/год; тиск в деаераторі – 7 кгс/см<sup>2</sup>; перепад тиску на живильному клапані котла – 20 кгс/см<sup>2</sup>.

В процесі експлуатації турбоустановка не працює в номінальних умовах, завжди один чи кілька параметрів робочого тіла або теплової схеми будуть відхилятися. Тому для можливості нормування таких нестаціонарних режимів необхідно розробити додаткові характеристики. Тобто, потрібно розробити поправки до питомої витрати теплоти на турбіну і витрати свіжої пари або електричної потужності.

Розрахунок поправок відбувається шляхом проведення імітаційного експерименту на математичній моделі турбоустановки [392]. Для розрахунку поправок потрібно змінювати параметр, для якого хочемо визначити поправку. Наприклад, для розрахунку поправки до витрати свіжої пари, повної та питомої витрати теплоти на турбіну за умови незмінної потужності, в математичній моделі задаємо величину тиску свіжої пари перед ЦВТ: 241, 242, 243 кгс/см<sup>2</sup>, і так далі. Аналогічно і в протилежному напрямку, на зниження тиску – 239, 238, 237 кгс/см<sup>2</sup>, і так далі. В результаті перерахунку отримуємо нові значення витрати свіжої пари, повної та питомої витрати теплоти на турбіну в змінених умовах та їх відхилення від номінальних значень, тобто поправки. Ця операція повторюється для різних значень потужності турбіни.

Розрахунок поправок на зміну температур свіжої пари та пари гарячого проміжного перегріву (ГПП) проводиться аналогічно. В результаті отримуємо поправочні криві на відхилення початкових параметрів пари від номінальних,

визначених при різних значеннях потужності турбіни. Саме цим поправки, визначені за допомогою математичної моделі, якісно відрізняються від поправок заводу-виробника, які визначені для режиму номінальної потужності. Для прикладу поправочні криві надані заводом-виробником представлені на рис. 3.

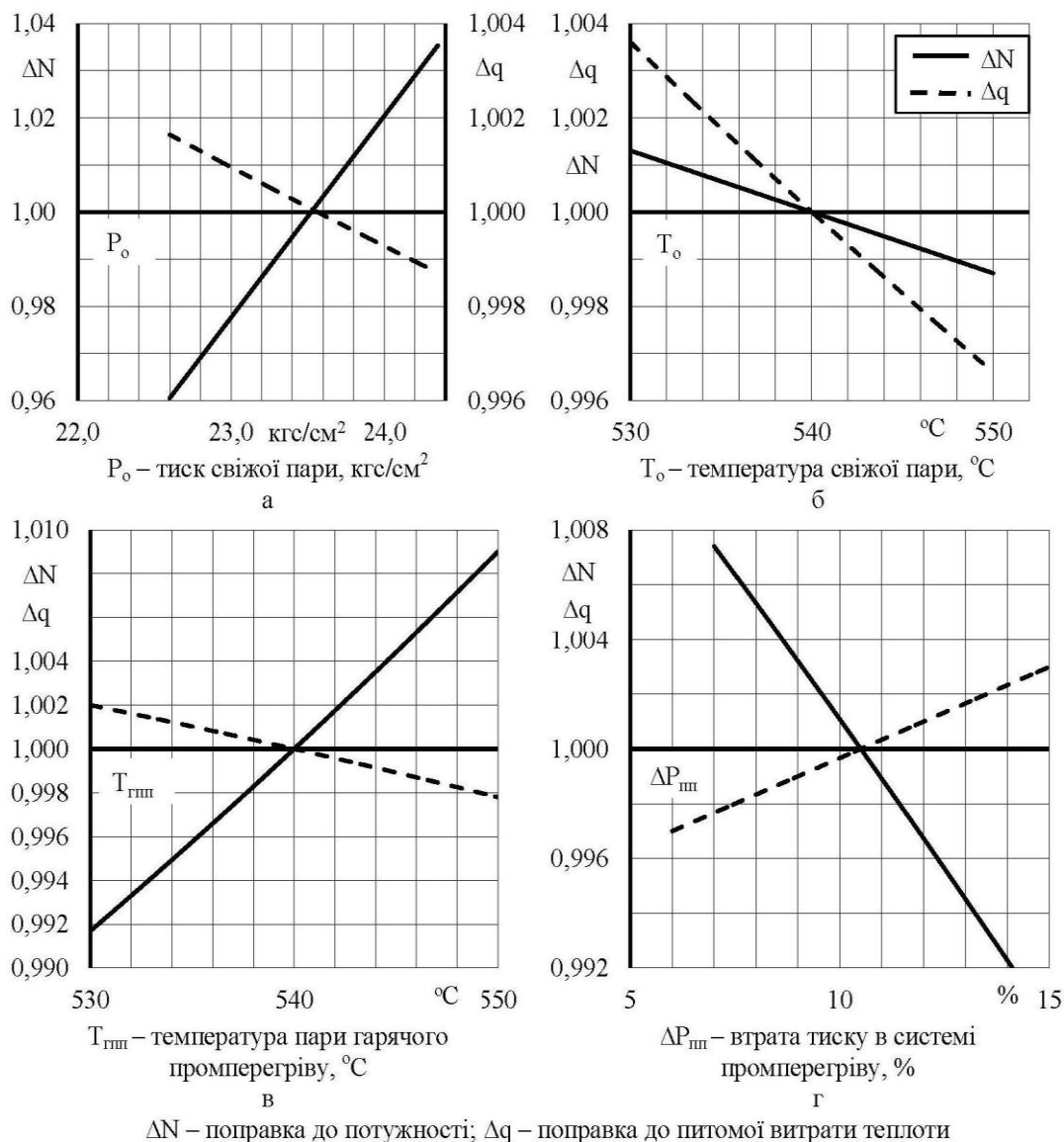
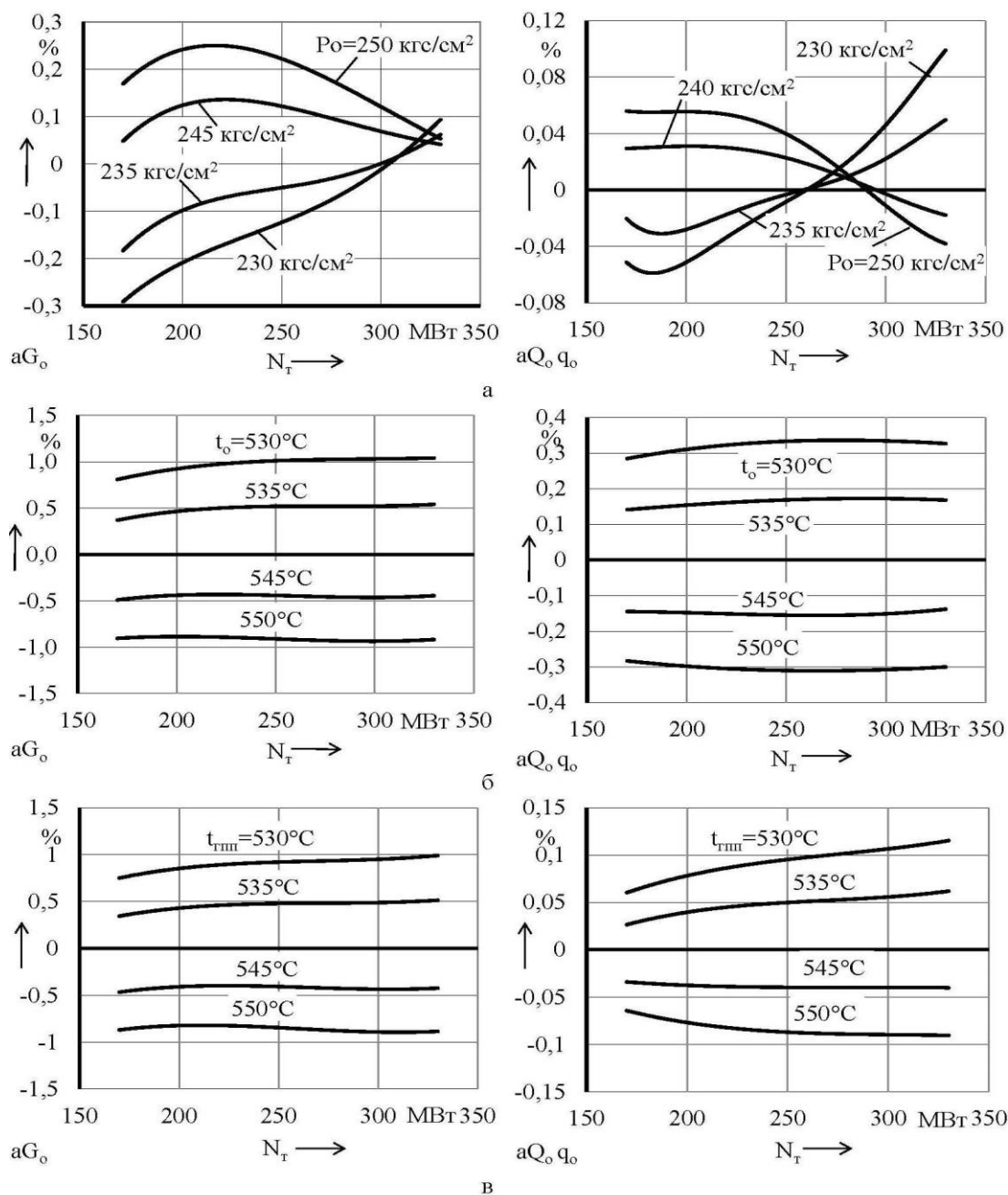


Рисунок 3. Поправочні криві на зміну потужності та питомої витрати теплоти при зміні: а – тиску свіжої пари; б – температури свіжої пари; в – температури гарячого проміжного перегріву; г – втрати тиску в системі проміжного перегріву.

Поправочні криві до витрати свіжої пари, повної та питомої витрати теплоти на турбіну на відхилення тиску свіжої пари, температури свіжої пари та ГПП від номінальних, отримані шляхом імітаційного експерименту на математичній моделі турбоустановки К-325-23,5 зображені на рис. 4.



# IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING



$aG_o$  – поправка до витрати свіжої пари, %;  $aQ_o, q_o$  – поправка до повної та питомої витрати теплоти, %;  $N_T$  – потужність турбіни, МВт.

Рисунок 4. Поправочні криві до витрати свіжої пари, повної та питомої витрати теплоти на відхилення: а- тиску свіжої пари; б – температури свіжої пари; в – температури пари гарячого проміжного перегріву від номінальних

Як бачимо з рис. 4-а поправочні криві на відхилення тиску свіжої пари до витрати свіжої пари та повної і питомої витрати теплоти на турбіну змінюють свій характер в залежності від потужності турбіни. Тобто, поправка може бути з від’ємним знаком при одному значенні потужності, або із додатнім знаком при іншому, при цьому це поправка на одне і те саме значення відхилення тиску. Це

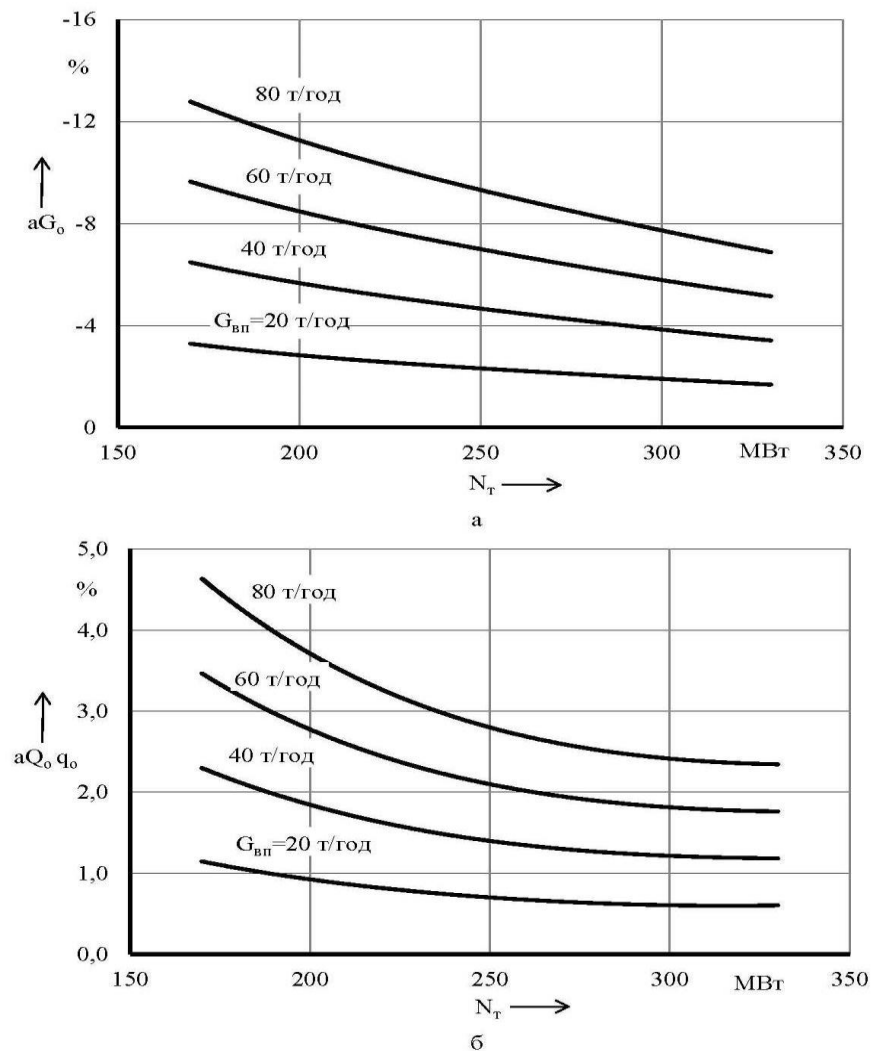
пояснюється тим, що одне і те саме значення відхилення тиску свіжої пари від номінального при різних значеннях потужності турбіни має різний вплив на її економічність і, відповідно, на витрату свіжої пари.

Окрім поправок на відхилення початкових параметрів пари від номінальних, за допомогою математичної моделі турбоустановки можна розрахувати поправки на зміни її теплової схеми від проектної або відхилення режиму експлуатації від номінальних умов. Наприклад, можна визначити поправку на включення впорскування живильної води в тракт проміжного перегріву пари. Така поправка визначається подібно до вищенаведених поправок на відхилення початкових параметрів пари. В номінальних умовах впорскування живильної води, в тракт проміжного перегріву пари, відсутнє. Для розрахунку поправки задаємось величиною впорскування, наприклад, 20, 40, 60 т/год. та розв'язуємо систему рівнянь при довільному сталому значенні потужності турбіни. У результаті розв'язання отримуємо значення витрати свіжої пари на турбіну та значення повної та питомої витрати теплоти. Порівнюємо ці величини із значеннями в номінальних умовах при заданій потужності турбіни і отримуємо, таким чином, поправки до витрати свіжої пари, повної та питомої витрати теплоти на турбіну на задану величину впорскування живильної води. Повторюючи дану операцію для кількох значень потужності турбіни, будуємо поправочні криві, котрі зображені на рис. 5.

#### **6.4.5 Аналіз результатів імітаційного експерименту на математичній моделі**

Отже, за допомогою математичної моделі турбоустановки можливо вирішити вище зазначені проблеми з якими стикаються налагоджувальні організації, що проводять випробування та розробляють нормативні енергетичні характеристики енергоблоків теплових електростанцій. Повний перерахунок теплової схеми турбоустановки на математичній моделі дозволяє привести результати теплових випробувань до номінальних умов з більшою точністю ніж за допомогою заводських поправок [392]. Це дозволяє врахувати вплив

відмінностей усіх параметрів, котрі мали місце під час натурального експерименту, у їх взаємовпливі.



$aG_o$  – поправка до витрати свіжої пари, %;  $aQ_o, q_o$  – поправка до повної та питомої витрати теплоти, %;  $N_T$  – потужність турбіни, МВт.

Рисунок 5. Поправочні криві на включення впорскування живильної води в тракт проміжного перегріву пари до: а – витрати свіжої пари на турбіну; б – повної та питомої витрати теплоти.

За допомогою математичної моделі можна розрахувати характеристики устаткування у нестационарних режимах роботи, тобто врахувати відхилення будь-якого технологічного параметру від номінального чи будь-яку зміну теплової схеми турбоустановки від проектної. Для цього не потрібно проводити додаткових натурних випробувань на існуючому устаткуванні, що значно економить час та трудові затрати.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

Порівнюючи поправочні криві надані заводом-виробником (рис. 3) та отримані шляхом імітаційного експерименту (рис. 4 і 5), бачимо що ці криві мають різний характер, це обумовлено тим що заводські поправки пораховані при номінальній електричній потужності у вузькому діапазоні зміни параметра. Математична модель дозволяє порахувати поправки в широкому діапазоні та за різних значень потужності енергоблоку. Вона також дозволяє порахувати поправки на зміну теплової схеми турбоустановки від проектної, наприклад на переведення живлення деаератора паром іншого відбору, на відключення будь-якого підігрівача, або на включення впорскування живильної води в тракт проміжного перегріву пари, що розглядалося вище. Приклад поправочних кривих на включення впорскування показано на рис. 5, де представлено поправочні криві пораховані при різних значеннях витрати живильної води в залежності від електричної потужності енергоблоку.

### Висновки

За результатами теплових випробувань нової турбіни К-325-23,5 енергоблоку ст. №1 Запорізької ТЕС була складена математична модель турбоустановки. На моделі виконано перерахунок результатів випробувань з дослідних умов на номінальні з подальшою побудовою енергетичних характеристик турбіни. Такий спосіб приведення дослідних даних до номінальних умов дає результати з меншою похибкою, ніж спосіб застосування розрахункових поправочних кривих, наданих заводом - виробником.

На математичній моделі пораховано поправочні коефіцієнти на відхилення основних параметрів робочого тіла від номінальних, а також на відмінності теплової схеми від проектної. Зокрема пораховані та побудовані поправочні криві до витрати свіжої пари, повної та питомої витрати теплоти на відхилення тиску та температури свіжої пари перед ЦВТ, температури пари проміжного перегріву перед ЦСТ, а також на включення впорскування живильної води в тракт проміжного перегріву. На відміну від заводських, поправки пораховані, на математичній моделі, в широкому діапазоні параметра що змінюється, та за різних значень електричного навантаження енергоблоку.

### **6.5 Вплив конструкції і способу монтажу первинних термоперетворювачів на похибку вимірювання температури плинних енергоносіїв**

При транспортуванні трубопроводами плинні енергоносії піддаються багатofакторним впливам температури і тиску, що призводить до зміни їх густини. Додаткові похибки, що виникають при цьому, можуть досягати значних величин, особливо при вимірюванні витрати або кількості газоподібних енергоносіїв. Одним із шляхів зменшення цих похибок є оснащення витратомірів і вимірювачів кількості автоматичними пристроями, що коректують їх покази на зміну температури і тиску (або густини). В свою чергу ці пристрої також повинні забезпечувати незначні відхилення параметрів від їх дійсних значень. Розглянемо фактори виникнення похибок і шляхи їх зменшення при вимірюванні температури плинних енергоносіїв, що транспортуються трубопроводами.

Під час вимірювання температури тепло передається від досліджуваного середовища через захисну арматуру первинного термоперетворювача (ПТ) до його чутливого елемента, який фіксує температуру цього середовища. Але при цьому проходить також теплообмін між чутливим елементом і елементами захисної арматури в поздовжньому напрямку, оскільки між ними і вимірюваним середовищем існує перепад температур. Внаслідок цього виникає відхилення вимірної температури від її дійсного значення. Ці відхилення визначають похибку вимірювання, що виникає в процесі перетворення температури у вимірювану фізичну величину з допомогою ПТ. Ця складова похибки має повністю тепловий характер і визначається умовами теплового балансу між досліджуваним газовим потоком і ПТ та має найбільший вплив на загальну похибку вимірювання. Відмітимо також, що якщо температура газового потоку є нестационарною, то за рахунок власної теплоємності термоперетворювача він не встигає реєструвати змінну в часі температуру потоку. За рахунок цього під час вимірювання нестационарних температур виникає динамічна складова

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

похибки вимірювання. Цим визначаються динамічні характеристики ПТ (час установлення показів, показник теплової інерції).

Для повного виключення або підтримання цих відхилень в допустимих межах необхідно використовувати для конкретних вимірювань найбільш конструктивно придатний для цієї мети ПТ. Питання, які необхідно враховувати при конструюванні, виборі і монтажі ПТ, витікають із законів теплопередачі.

При вимірюванні температури газоподібних енергоносіїв і пари низького тиску похибка, яка має тепловий характер, може досягати великих значень.

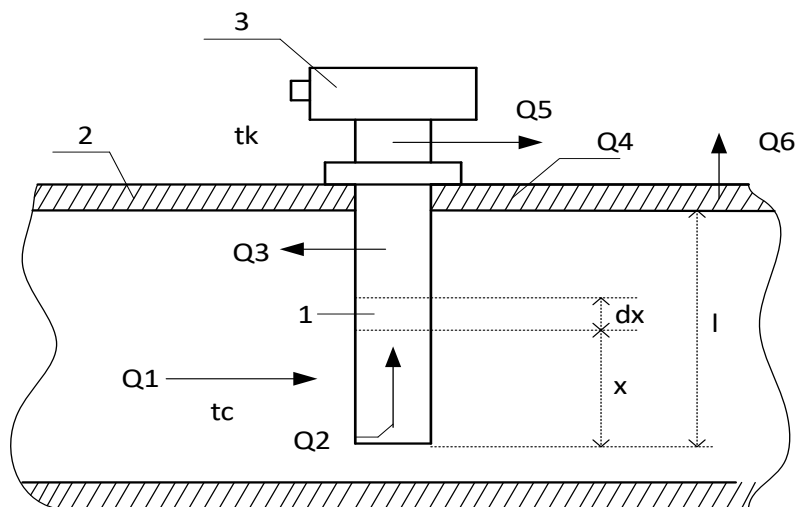
Розглянемо спрощену схему теплових потоків ПТ із захисною арматурою, який вмонтований в трубопровід і знаходиться в тепловому контакті з ним, для випадку, коли температура навколишнього середовища є нижчою від температури енергоносія в трубопроводі (малюнок 1). Тепловий потік  $Q_1$  від досліджуваного середовища до захисної арматури передається в результаті конвективного теплообміну. Через захисну арматуру і чутливий елемент в результаті теплопровідності до місця закріплення ПТ на трубопроводі направлений тепловий потік  $Q_2$ .

Тепловий потік  $Q_3$  відводиться в результаті випромінення між захисною арматурою ПТ і стінкою трубопроводу. Від місця закріплення захисної арматури частина теплового потоку  $Q_2$  передається в радіальному напрямку в стінку трубопроводу (потік  $Q_4$ ), а інша частина відводиться через захисну арматуру ПТ, що виступає з трубопроводу, і головку в навколишнє середовище (потік  $Q_5$ ). В результаті конвективної теплопередачі від енергоносія до стінки труби в навколишнє середовище буде відводитися тепловий потік  $Q_6$ . Рівняння теплового балансу можна записати наступним чином:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_6 = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 .$$

При умові теплоізоляції трубопроводу і місця закріплення ПТ температура стінки трубопроводу і місця закріплення ПТ будуть наближатися до температури досліджуваного середовища і тепловими потоками  $Q_4$  і  $Q_6$  можна знехтувати. Оскільки значення температури енергоносіїв при транспортуванні їх трубопроводами не перевищують  $-50...+50^{\circ}\text{C}$ , то теплопередача випроміненням

(потік  $Q_3$ ) буде незначною і для спрощення математичного апарату її також можна не враховувати.



Малюнок 1. Схема теплових потоків ПТ, вмонтованого в трубопроводі:

1 - захисна арматура ПТ; 2 - стінки трубопроводу; 3 - головка ПТ

Допустимо також, що через поверхню дна захисної арматури не відбувається підведення або відведення тепла. Тоді рівняння теплового балансу:

$$Q_1 = Q_2 .$$

На віддалі  $x$  від дна захисної арматури ПТ виділимо елемент  $dx$  і запишемо для нього рівняння теплового балансу. Потік тепла через поперечний елемент  $dx$  захисної арматури ПТ діаметром  $d$  в результаті конвективної теплопередачі від досліджуваного середовища складає

$$dQ_1 = \alpha \cdot \pi \cdot d \cdot dx \cdot (t_c - t), \quad (1)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт конвективної теплопередачі на поверхні ПТ;  $t_c$  - температура досліджуваного середовища;  $t$  - температура поперечного елемента  $dx$ .

З іншої сторони осьовий тепловий потік в поперечному елементі  $dx$  складає:

$$dQ_2 = Q_2' - Q_2''$$

Згідно закону Фур'є:

$$Q_2' = -\lambda \cdot F \cdot \frac{dt}{dx} \text{ і}$$

$$Q_2'' = -\lambda \cdot F \cdot \frac{d}{dx} \left( t + \frac{dt}{dx} dx \right).$$

Тоді

$$dQ_2 = \lambda \cdot F \cdot \frac{d^2 t}{dx^2} \cdot dx, \quad (2)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності захисної арматури ПТ при температурі  $t$ ;  $F$  - площа поперечного сечення захисної арматури.

Порівнюючи вирази (1) і (2) одержимо диференціальне рівняння, яке описує розподіл температури  $t_x$  вздовж захисної арматури ПТ:

$$\frac{d^2 t}{dx^2} = \frac{\pi \cdot d}{\lambda \cdot F} \cdot \alpha \cdot (t_c - t) \quad (3)$$

Прийнявши граничні умови: при  $x=0$   $t=t_c$  і при  $x=l$   $t=t_k$  ( $t_k$  - температура в місті закріплення ПТ на трубопроводі) рішення рівняння (3) можна представити залежністю

$$\delta_t = \frac{t_c - t_x}{t_c - t_k} = \frac{ch\left(\sqrt{\frac{\alpha \cdot \pi \cdot d}{\lambda \cdot F}} \cdot x\right)}{ch\left(\sqrt{\frac{\alpha \cdot \pi \cdot d}{\lambda \cdot F}} \cdot l\right)} \quad (4)$$

Залежність (4) представляє собою математичну модель теплової підсистеми ПТ і відповідає математичній моделі теплообміну чутливого елемента, яка повинна складатися з врахуванням його теплової взаємодії з елементами конструкції ПТ, навколишніми тілами і газовим потоком плинного енергоносія, а також можливою наявністю внутрішніх джерел тепла.

При розробленні даної математичної моделі теплової підсистеми ПТ розглядалося як однорідне ізотропне тіло.

Залежність для математичної моделі (4) показує вплив теплопередачі на похибку вимірювання, обумовлену теплопровідністю (статична складова похибки). Вона одержана при введенні вказаних вище допущень для циліндричної захисної арматури.

Реальні умови теплообміну і конструктивні особливості ПТ значно відрізняються від прийнятих нами і для їх визначення необхідно використати складний математичний апарат та виконати громіздкі розрахунки. Тому точне значення похибки вимірювання простіше отримати із експериментальних досліджень. Але одержана залежність (4) дає



рекомендації відносно вибору конструкції ПТ та особливостей його встановлення на трубопроводі.

Аналіз (4) показує, що похибка вимірювання залежить як від параметрів досліджуваного середовища, так і від конструктивних особливостей ПТ.

Розглянемо основні вимоги, що витікають з (4), які необхідно враховувати при розробленні конструкції і монтажі ПТ для зменшення похибки вимірювання температури.

Значення даної складової похибки можна зменшити такими способами:

- зменшенням різниці температур ( $t_c - t_x$ );
- збільшенням глибини занурення  $l$  ПТ в газовий потік;
- зменшенням діаметра ПТ, термоелектродних і з'єднувальних провідників, а також вибирати їх з малою теплопровідністю;
- збільшенням коефіцієнта конвективної тепловіддачі  $\alpha$  від газового потоку до чутливого елемента ПТ.

Розглянемо основні вимоги, що витікають з (4), які необхідно враховувати при розробленні конструкції і монтажі ПТ для зменшення похибки вимірювання температури.

Зменшення різниці температур ( $t_o - t_{cm}$ ) практично здійснити важко. В основному це можна досягнути тільки за рахунок електричного підігрівання трубопроводу, на якому закріплюється ПТ. Такий захід дає змогу практично повністю виключити складову похибки від теплообміну через теплопровідність, але це пов'язано з великими експлуатаційними труднощами.

Температура  $t_c$  визначається взаємодією виступаючої частини ПТ із зовнішнім середовищем, в якому він встановлюється. Оскільки температура  $t_c$  залежить від інтенсивності теплообміну виступаючої частини ПТ, що розміщена поза газовим потоком, з навколишнім середовищем, необхідно виступаючу частину, по можливості, конструювати як найменших розмірів і теплоізолювати її від навколишнього середовища. Таку теплову ізоляцію можна досягнути шляхом розміщення між стінкою трубопроводу і корпусом ПТ прокладок із матеріалу з низькою теплопровідністю (наприклад текстоліту, склотекстоліту,

азбоцементу, тощо) або розміщення навколо виступаючої частини ПТ нетеплопровідних екранів.

Найбільш вільно можна змінювати глибину занурення  $l$  ПТ в газовий потік. Ця глибина занурення повинна бути по можливості найбільшою. Але навіть при великій глибині занурення ПТ температура захисного корпусу буде дещо відрізнятися від температури газового потоку за рахунок впливу випромінення і перетворення частини кінетичної енергії в теплову. Тобто, зміною глибини занурення ПТ можна тільки послабити тепловідведення через корпус.

Для зменшення цієї складової похибки доцільно використовувати термоелектроди термопари з малою теплопровідністю. Це дає змогу виготовити ПТ будь-якої конструкції досить компактним. Особливо це відноситься до ПТ з поздовжнім обтіканням чутливого елемента, оскільки для них складніше забезпечити достатню глибину занурення, яка гарантувала б мінімальні похибки від тепловідведення через теплопровідність.

Авторами проводилися експериментальні дослідження впливу глибини занурення на похибку вимірювання температури ПТ, корпус якого був виготовлений із нержавіючої сталі марки 12Х18Н10 з коефіцієнтом теплопровідності 46 Вт/(м.К). Глибини занурення становили відповідно 100 і 20 мм. Чутливим елементом служила термопара з номінальною статичною характеристикою типу К за стандартом «Thermoelectric temperature transducers. Part 1. Performance specification and tolerance of the electromotive force (EMF) : ДСТУ EN 60584-1:2016 (EN 60584-1:2013, Idt). – [Effective 2016–11–01]. – Kyiv: State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy, 2016. – 90 p. – (National Standards of Ukraine». При глибині занурення 100 мм похибка вимірювання температури від тепловідведення по корпусу ПТ становила 3 %, а при глибині занурення 20 мм ця похибка зросла до 7 %.

Для зменшення похибки доцільно також використовувати термоелектроди з малою теплопровідністю. Це дає змогу виготовити ПТ будь-якої конструкції досить компактним. Особливо це відноситься до ПТ з поздовжнім обтіканням

чутливого елемента, оскільки для них складніше забезпечити достатню глибину занурення, яка гарантувала б мінімальні похибки від тепловідведення через теплопровідність.

Зменшення похибки можливе за рахунок збільшення коефіцієнта конвективної тепловіддачі  $\alpha$ , зменшення теплового потоку через елементи захисної арматури ПТ, а також збільшення теплопередачі від захисної арматури до чутливого елемента ПТ.

Під час обтікання газовим потоком твердого тіла біля його поверхні утворюється пристінний шар, в межах якого швидкість середовища зменшується від значення, що дорівнює швидкості набігаючого потоку, до нуля. Кількість тепла, що переноситься від середовища до твердого тіла буде визначатися коефіцієнтом конвективної тепловіддачі  $\alpha$ , який залежить від критерію Рейнольдса, геометричних параметрів ТП і параметрів газового потоку.

За результатами багатьох досліджень і за дослідженнями авторів, при дозвукових швидкостях потоку в діапазоні зміни  $Re$  від 100 до 10000 можна рекомендувати такі емпіричні залежності, що характеризують теплообмін між ТП і газовим потоком :

- для круглих циліндричних ТП, що поперечно омиваються потоком

$$Nu = (0,44 \pm 0,06) Re^{0,5}, \quad (5)$$

а для повздовжнього обтікання

$$Nu = (0,085 \pm 0,009) Re^{0,674}. \quad (6)$$

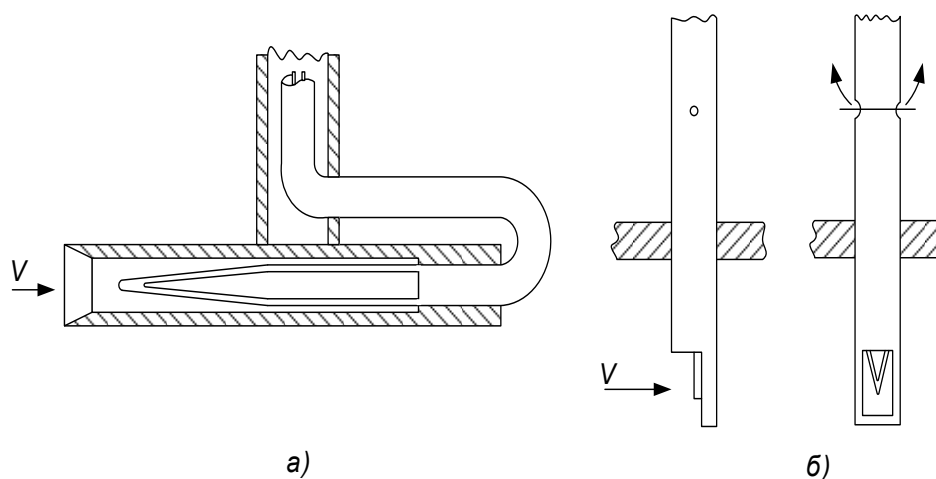
Залежності (5) і (6) охоплюють температурний діапазон від 15 до 1620 °C і числа Маха  $M$  від 0,015 до 0,9. Ці дані можуть бути використані під час синтезу ПТ з камерами гальмування, в яких швидкість газового потоку завжди відповідає числу  $M < 1$ .

Збільшення коефіцієнта конвективної теплопередачі  $\alpha$  можна досягнути встановленням ПТ в точці з найбільшою швидкістю протікання досліджуваного середовища, а також штучним її підвищенням. Коефіцієнт  $\alpha$  збільшується також при зменшенні діаметра захисної арматури ПТ, тому цей діаметр по можливості

повинен бути невеликим. Але коефіцієнт  $\alpha$  може змінюватися у відносно невеликих межах, оскільки зменшення діаметра ПТ призводить до зменшення його механічної міцності, а збільшення швидкості в трубопроводі призведе до збільшення похибки, обумовленої неповним перетворенням кінетичної енергії рухомого газу в теплову. Отже, існує деякий оптимум для результуючої дії вказаних чинників. Збільшення теплосприймаючої поверхні ПТ (її оребрення) також призводить до збільшення  $\alpha$ .

Результати розрахунків показують, що при зменшенні числа Рейнольдса ( $i$ , відповідно, при зменшенні інтенсивності конвективного теплообміну) необхідно збільшувати глибину занурення ПТ в газовий потік. Рекомендоване відношення  $L/d$  може знаходитись в межах від 20 до 50 і є достатнім для практично повного усунення похибки від тепловідведення.

На малюнку 2 показані типові конструкції ПТ, призначені для послаблення тепловідведення від чутливого елемента. В ПТ, зображеному на мал. 2.а довжина робочої частини дорівнює 50 діаметрам термоелектродів, що забезпечує послаблення тепловідведення від корпусу.



Малюнок 2. Типові конструкції ПТ для зменшення тепловідведення через теплопровідність

Наявність отворів з достатньо великим віддаленням їх від спаю чутливого елемента в ПТ, зображеному на рис. 2б, збільшує умовну глибину занурення, що

особливо важливо в умовах обмеженості робочого простору для встановлення ПТ. Як правило, такий ПТ придатний для експлуатації тільки при відсутності теплообміну випромінюванням, оскільки в його конструкції не передбачено екранування. В ПТ даної конструкції похибка від тепловідведення зменшується завдяки тому, що газовий потік обтікає термоелектроди термопари на достатньо великому проміжку від спаю до вихідних отворів.

Тепловий потік через елементи захисної арматури повинен бути також зменшений до мінімально можливого значення за рахунок зменшення поверхні теплопередачі (зменшення діаметра захисної арматури, товщини стінки, розмірів головки, тощо).

Оскільки вздовж захисної арматури до місця встановлення ПТ на трубопроводі має місце градієнт температур, то чутливий елемент ПТ повинен знаходитись як найближче до дна захисної арматури, а активна довжина його повинна бути мінімальною. При збільшенні довжини чутливого елемента необхідно також збільшувати глибину занурення ПТ в досліджуване середовище. Необхідна глибина занурення в значній мірі залежить від інтенсивності теплообміну, тобто від параметрів досліджуваного середовища. Так, в газових середовищах глибина занурення ПТ повинна не менше, ніж в 2 рази перевищувати активну довжину чутливого елемента або складати не менше 8...10 діаметрів захисної арматури. Але при цьому необхідно враховувати, що глибина занурення ПТ в трубопроводі високого тиску не повинна бути дуже великою з врахуванням механічних навантажень, що діють на захисну арматуру ПТ.

Забезпечення високого коефіцієнта теплопередачі від захисної арматури до чутливого елемента ПТ досягається також впровадженням певних конструкторських рішень (встановлення невеликого проміжку між захисною арматурою і чутливим елементом, забезпечення теплового контакту чутливого елемента з дном арматури, тощо) та дотриманням встановлених технологічних норм при виготовленні ПТ.

## **6.6 Ексергетична ефективність теплоутилізаційних систем з повітряним методом захисту газовідвідних трактів котелень**

При проектуванні котелень з теплоутилізаційними установками приділяється велика увага забезпеченню довговічності газовідвідних трактів. Реалізація в комунальних котельнях сучасних теплоутилізаційних технологій з глибоким охолодженням димових газів в деяких режимах роботи котлів призводить до зниження температури цих газів нижче точки роси і конденсації частини пари, що міститься в газах. Утворений конденсат викликає корозійне руйнування газовідвідних трактів котельних установок. Складні експлуатаційні умови газовідвідних трактів спричиняють необхідність розробки ефективних методів антикорозійного захисту. Один із способів підвищення ресурсу експлуатації газовідвідних трактів пов'язаний із використанням теплових методів їхнього захисту. Однак, застосування цих методів обмежено через відсутність для їх дослідження сучасних комплексних методик. Наразі перспективними дослідженнями, які знаходять все більше використання в енергетиці, є дослідження ефективності енергетичних установок різного типу на основі ексергетичного підходу. Це пов'язано, зокрема, з тим, що вказані дослідження дозволяють отримати важливі характеристики установки, які є достатньо чутливими до зміни конструктивних і режимних параметрів. Але слід відмітити, що на сьогодні дослідження ефективності та оптимізація теплоутилізаційних систем виконуються, як правило, з використанням лише одного з методів аналізу – ексергетичного, технологічного тощо. Це не дозволяє аналізувати роботу установки з різних позицій, і при розробленні її конструкції використовувати параметри, максимально наближені до оптимальних. Створення методик дослідження ефективності та оптимізації теплоутилізаційних систем має базуватись на використанні сучасних комплексних підходів. Ряд досліджень, що присвячені аналізу роботи енерготехнологічних систем на основі комплексних підходів, поєднують ексергетичний аналіз з елементами теорії лінійних систем, багаторівневої

оптимізації та інших. Це дозволяє при дослідженнях оперувати параметрами, відповідальними за ефективність таких систем. Такі параметри можуть бути використані як критерії оцінки термодинамічної ефективності системи. Вказані критерії передбачають застосування як окремих ексергетичних характеристик, так і цих характеристик в комплексі з технологічними та конструктивними параметрами системи.

Однак, при вивченні проблем експлуатації газовідвідних трактів котельних установок відповідні дослідження, що дозволяють отримати необхідну інформацію для проектування оптимальних теплоутилізаційних схем проводилися у недостатньому обсязі.

Дослідження на основі ексергетичного підходу все частіше використовуються в світі. Так, у роботі [396] підкреслюється, що ексергетичний аналіз можна розглядати як спосіб отримання інформації, що дозволяє визначати галузі, в яких можуть бути здійснені технічні поліпшення. Як приклад досліджень, заснованих на застосуванні класу ексергетичних методів, можна навести роботи [397-399]. У роботі [397] розглядається установка з виробництва водню з біомаси. Ексергетичний аналіз використовується для оцінки її загальної та ексергетичної ефективності. У роботі [398] наведено результати ексергетичного аналізу ефективності абсорбційної холодильної машини та визначено змінні, що характеризують продуктивність установки. Для аналізу ефективності котельні в роботі [399] використано балансовий метод ексергетичного аналізу, за допомогою якого розглядаються два основні види ексергетичних втрат. Це втрати, пов'язані з незворотним спалюванням палива та теплопереносом. Однак, застосування даного методу до установок загалом не дозволяє аналізувати ефективність кожного елемента установки, локалізувати ексергетичні втрати та визначати значення характеристик, за яких ці втрати мінімальні. У роботі [400] наголошується, що ексергетичний аналіз є потужним інструментом для розробки, оцінки та вдосконалення систем перетворення енергії. Проте, відсутність відповідної формальної процедури використання результатів цього аналізу значно обмежує широту його застосування. Така

процедура може бути пов'язана із розробкою комплексних методик аналізу ефективності енергетичних установок на основі ексергетичного підходу. При цьому результативність аналізу ексергетичної ефективності значно підвищується. Дослідженням у цій галузі присвячено роботи [401–410]. В роботах [401, 402] проведено аналіз локалізації ексергетичних втрат на основі комплексної методики, яка включає методи ексергетичного аналізу і методи теорії лінійних систем. В роботі [403] використано комплексний підхід із застосуванням теорії графів для аналізу ексергетичної ефективності комбінованої теплоутилізаційної установки. Публікації [404–409] присвячено використанню комплексних методик аналізу ефективності та оптимізації для дослідження як складних теплоутилізаційних систем, так і їхніх окремих елементів. В роботі [410] наведено результати застосування ексергетичного підходу для аналізу впливу на ексергетичні характеристики теплоутилізаційних систем деяких параметрів газовідвідних трактів котельних установок. Однак, залишилися невирішеними питання, пов'язані з більш детальними дослідженнями ексергетичних характеристик теплоутилізаційних систем з тепловими методами захисту. Такі дослідження дозволять одержувати необхідну інформацію для проектування оптимальних теплоутилізаційних схем і встановлювати зв'язок між ексергетичними та екологічними характеристиками газовідвідних трактів котельних установок.

В даній роботі проведено аналіз ексергетичної ефективності теплоутилізаційної системи з повітряним тепловим методом антикорозійного захисту газовідвідних трактів. В рамках виконаного аналізу розроблено структурну схему котельної установки з цим методом з ідентифікацією ексергетичних потоків між окремими елементами структури. Відповідно до структурної схеми складено інтегральне балансове рівняння для визначення критеріїв оцінки ефективності теплоутилізаційної системи з повітряним тепловим методом захисту газовідвідних трактів котельних установок. Розраховано ексергетичні характеристики, що входять до критеріїв оцінки ефективності, та встановлено залежності ексергетичних характеристик від



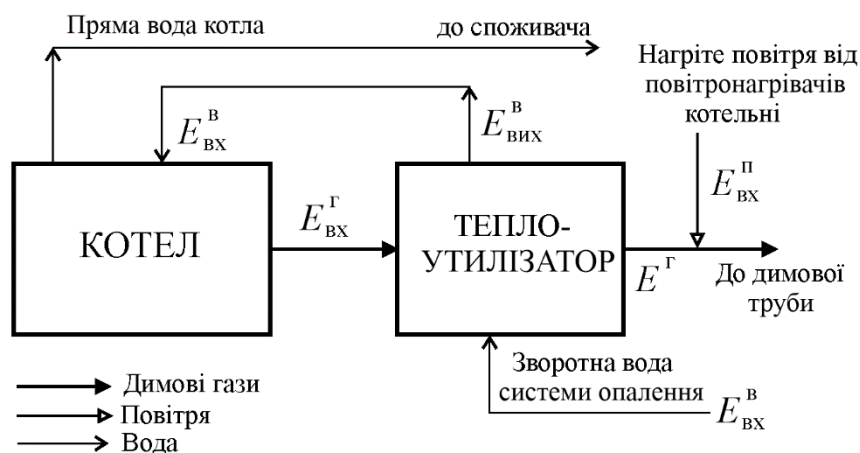
## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

параметрів зазначеного методу. Визначено оптимальні області зміни параметрів відповідної теплоутилізаційної системи.

Ексергетичний аналіз системи теплоутилізації виконано для газоспоживальних котельних установок з теплопродуктивністю котла 2 МВт. В теплоутилізаційній системі котельної установки реалізовано один з теплових методів антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок – повітряний метод. Сутність методу полягає у підмішуванні в димові гази після теплоутилізатора частини нагрітого повітря від повітронагрівача котельні, що забезпечує зниження відносної вологості газів і точки роси та підвищення їхньої температури. Це запобігає утворенню конденсату на поверхні газовідвідних трактів. Подальше підігрівання газів після теплоутилізатора і відповідне зменшення їхньої відносної вологості здійснюється в поверхневому теплообміннику (газопідігрівачі). Для підігрівання газів використовується теплота прямої води котла або частини газів, відібраних перед теплоутилізатором.

Для аналізу ексергетичної ефективності теплоутилізаційної системи з повітряним тепловим методом захисту застосовано комплексну методику, яка включає структурно-варіантні методи, інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу та вибір ексергетичних критеріїв оцінки ефективності. Методика передбачає високу точність отриманих результатів, в середньому, 0,4%. В рамках комплексної методики розроблено структурну схему теплоутилізаційної системи з повітряним тепловим методом захисту газовідвідних трактів котельних установок (мал.1).

В структурній схемі котельної установки з повітряним тепловим методом захисту газовідвідних трактів відображено ексергетичні потоки між окремими елементами структури.



**Малюнок 1. Структурна схема котельної установки з повітряним тепловим методом захисту газовідвідних трактів**

Ексергетичними критеріями оцінки ефективності теплоутилізаційної системи з повітряним тепловим методом захисту слугували ексергетичні втрати  $E_{вт}$  та тепло-ексергетичний критерій ефективності  $\varepsilon = E_{вт}/Q$ , який показує рівень ексергетичних втрат на одиницю теплової потужності системи, де  $Q$  – теплова потужність.

На основі структурної схеми з урахуванням ексергетичних потоків між окремими елементами структури складено ексергетичне балансове рівняння

$$E_{вт} = G^z c_p^z (T_{ex}^z - T_{вих}^z) - T_c G^z c_p^z \ln(T_{ex}^z / T_{вих}^z) - T_c G^z R / \mu^z \ln(p_{ex}^z / p_{вих}^z) - G^n c_p^n (T_{ex}^n - T_c \ln T_{ex}^n) - T_c G^n c_p^n R / \mu^n \ln p_{ex}^n - G^s (h_{ex}^s - T_c s_{ex}^s) + G^s (h_{вих}^s - T_c s_{вих}^s)$$

де  $c_p$  – питома теплоємність;  $G$  – витрати теплоносія;  $h$  – питома ентальпія;  $p$  – тиск;  $R$  – універсальна газова стала;  $s$  – питома ентропія;  $T$  – абсолютна температура;  $\mu$  – молекулярна маса;. Індекси верхні:  $z, v, n$  – димові гази, вода, повітря. Індекси нижні:  $vx, vix$  – вхід, вихід;  $c$  – навколишнє середовище.

Для розрахунку ексергетичних критеріїв оцінки ефективності використано комплексну методику, яка включає аналіз структурної схеми котельної установки з повітряним тепловим методом захисту газовідвідних трактів, аналіз ексергетичного балансового рівняння та вихідні дані, які наведено в таблиці 1. (Тут  $N$  – кількість підмішуваного повітря).

Таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку ексергетичних втрат та тепло-  
ексергетичного критерія ефективності

| $Q, \text{кВт}$ | $N, \%$ | $T_{\text{вх}}^{\text{e}}, \text{K}$ | $T_{\text{вих}}^{\text{e}}, \text{K}$ | $T_{\text{вх}}^{\text{e}}, \text{K}$ | $T_{\text{вих}}^{\text{e}}, \text{K}$ | $T_{\text{вх}}^{\text{n}}, \text{K}$ |
|-----------------|---------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 62,2            | 0       | 425,3                                | 342,8                                 | 330,0                                | 331,3                                 | 520                                  |
| 62,2            | 4       | 425,3                                | 349,4                                 | 330,0                                | 331,3                                 | 520                                  |
| 62,2            | 8       | 425,3                                | 355,6                                 | 330,0                                | 331,3                                 | 520                                  |
| 62,2            | 12      | 425,3                                | 361,4                                 | 330,0                                | 331,3                                 | 520                                  |
| 62,2            | 16      | 425,3                                | 366,7                                 | 330,0                                | 331,3                                 | 520                                  |
| 85,4            | 0       | 430,0                                | 334,2                                 | 318,6                                | 320,4                                 | 520                                  |
| 85,4            | 4       | 430,0                                | 341,2                                 | 318,6                                | 320,4                                 | 520                                  |
| 85,4            | 8       | 430,0                                | 347,7                                 | 318,6                                | 320,4                                 | 520                                  |
| 85,4            | 12      | 430,0                                | 353,7                                 | 318,6                                | 320,4                                 | 520                                  |
| 85,4            | 16      | 430,0                                | 359,4                                 | 318,6                                | 320,4                                 | 520                                  |
| 90,7            | 0       | 417,0                                | 323,8                                 | 305,0                                | 307,2                                 | 520                                  |
| 90,7            | 4       | 417,0                                | 331,2                                 | 305,0                                | 307,2                                 | 520                                  |
| 90,7            | 8       | 417,0                                | 338,1                                 | 305,0                                | 307,2                                 | 520                                  |
| 90,7            | 12      | 417,0                                | 344,5                                 | 305,0                                | 307,2                                 | 520                                  |
| 90,7            | 16      | 417,0                                | 350,5                                 | 305,0                                | 307,2                                 | 520                                  |

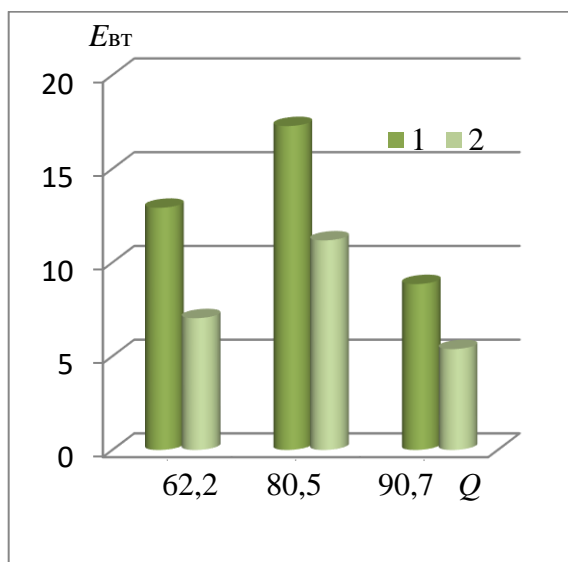
Отримано величини зміни ексергії димових газів та води в теплоутилізаційній системі при реалізації повітряного методу та ексергетичні критерії оцінки ефективності теплоутилізаційної системи при збільшенні кількості підмішуваного повітря  $N$ . Для прикладу в табл. 2 і мал. 2 наведено результати розрахунків для деяких значень теплової потужності теплоутилізатора  $Q$  (Тут  $\Delta$  – зміна величини).

Згідно з отриманими даними найбільший вплив на ексергетичні критерії оцінки ефективності  $E_{em}$  і  $\epsilon$  мають рівень та різниця температур теплоносіїв на вході і виході з теплоутилізатора, витрата теплоносіїв, вологовміст димових газів. Характер і ступінь впливу зазначених параметрів різна і залежить від теплопродуктивності котла, пов'язаного з його тепловим навантаженням. Загальна тенденція збільшення ексергетичних втрат внаслідок зниження температури та збільшення витрати відхідних газів, а також зниження

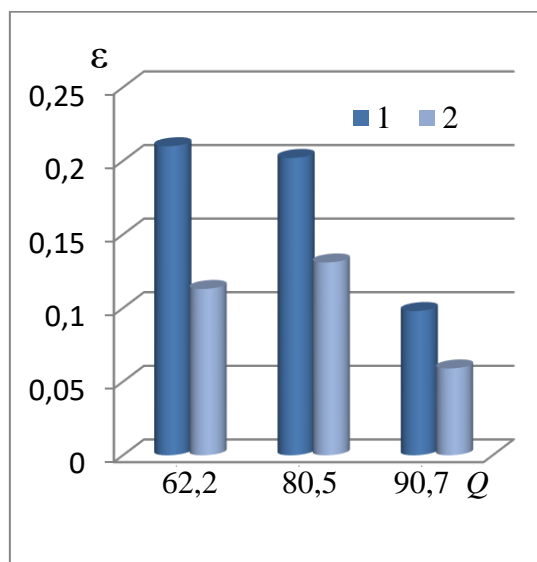
температури води після теплоутилізатора при зменшенні теплового навантаження котла порушується при переведенні котлів в номінальний режим роботи внаслідок зменшення загального числа котлів, що працюють.

**Таблиця 2. Результати розрахунку змін ексергії димових газів та води в теплоутилізаційній системі при реалізації повітряного методу антикорозійного захисту**

|                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Q$ , кВт          | 62,2 | 62,2 | 62,2 | 62,2 | 62,2 | 90,7 | 90,7 | 90,7 | 90,7 | 90,7 |
| $N$ , %            | 0    | 4    | 8    | 12   | 16   | 0    | 4    | 8    | 12   | 16   |
| $\Delta E^z$ , кВт | 7,1  | 7,1  | 7,1  | 7,1  | 7,1  | 4,9  | 4,9  | 4,9  | 4,9  | 4,9  |
| $\Delta E^e$ , кВт | 19,9 | 18,4 | 16,9 | 15,5 | 14,1 | 13,8 | 13,0 | 12,1 | 11,2 | 10,3 |



a)



б)

**Малюнок 2. Критерії ефективності теплоутилізаційної системи з повітряним тепловим методом захисту газовідвідних трактів:**

**a) ексергетичні втрати  $E_{вт}$ , б) тепло-ексергетичний критерій ефективності  $\epsilon$ : 1- за відсутності підмішуваного повітря;**

**2 - кількість підмішуваного повітря  $N=16\%$**

При реалізації повітряного методу величина зміни ексергії води  $\Delta E^e$  при незмінній теплопродуктивності теплоутилізатора  $Q$  залишається сталою, а

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

втрати ексергії  $E_{\text{вт}}$  і зміни тепло-ексергетичного критерію  $\varepsilon$  залежать від величини зміни ексергії димових газів  $\Delta E^{\circ}$  (табл. 1). Внаслідок підмішування в димові гази після теплоутилізатора частини нагрітого повітря відбувається підвищення на виході з теплоутилізатора температури суміші димових газів і повітря, збільшення витрати суміші і зменшення її вологовмісту. Підвищення температури суміші зменшує величину зміни ексергії димових газів, а збільшення витрати суміші і зменшення вологовмісту збільшує величину зміни ексергії димових газів за інших рівних умов. Спільний вплив зазначених параметрів має наступні результати. При підвищенні обсягів підмішуваного повітря для всіх значень теплопродуктивності теплоутилізатора втрати ексергії і значення тепло-ексергетичного критерію зменшуються. При теплопродуктивності теплоутилізатора  $Q = 90,7 \text{ кВт}$  зазначені критерії ефективності мають найменші значення, тобто ексергетична ефективність системи при реалізації розглянутого теплового методу у цьому разі найвища.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в застосуванні комплексної методики, яка включає структурно-варіантні, інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу та необхідні ексергетичні критерії, для оцінки ефективності теплоутилізаційної системи з підмішуванням в димові гази після теплоутилізатора частини нагрітого повітря. Практична цінність пов'язана з можливістю використання отриманих результатів при проектуванні теплоутилізаторів для конкретних схем утилізації теплоти енергетичних установок.

## **6.7 Аналіз ексергетичних характеристик теплоутилізаційних систем котельних установок**

Наразі дедалі більше застосування в теплонергетиці знаходять комплексні методики дослідження енергетичних установок на основі ексергетичного підходу. У світовій практиці дослідження із застосуванням ексергетичного підходу все частіше використовуються для аналізу енергетичних установок з метою підвищення їх ефективності. Але зазвичай ексергетична ефективність установок оцінюється за допомогою лише окремих ексергетичних характеристик, наприклад, ексергетичного ККД. Так в роботі [411] наведено результати аналізу на основі ексергетичного ККД ексергетичної ефективності абсорбційної холодильної машини та визначено змінні, що характеризують продуктивність установки. Метою роботи [412] є виконання ексергетичного і ексергоекономічного аналізу для елементів енергетичних установок, ефективність яких оцінюється при різних температурах навколишнього середовища. В роботі [413] на прикладі установки для переробки біомаси виконано ексергетичні дослідження, дані яких послуговували для оцінки загальної та ексергетичної ефективності установки. В роботі [414] використовуються результати ексергетичного аналізу систем перетворення енергії з метою вдосконалення цих систем. Однак відсутність відповідної формальної процедури використання результатів цього аналізу значно обмежує його застосування. Метою роботи [415] є встановлення за допомогою енергетичних і ексергетичних досліджень ефективності окремих компонентів атомної електростанції, що мають високі втрати ексергії. В роботі [416] розглядаються результати порівняльного ексергетичного аналізу систем утилізації теплоти газового двигуна. Використання для ексергетичних досліджень окремих ексергетичних характеристик, зокрема ексергетичного ККД, не дозволяє врахувати деякі важливі аспекти досліджуваних процесів. До прикладу при такому підході не враховується цільове призначення процесу, існує неоднозначність трактування

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

корисних ефектів і витрат, неможливість встановити локалізацію ексергетичних втрат. Тому при оцінці досконалості роботи енергетичних установок доцільно використовувати комплексні методики, які поєднують сучасні методи дослідження та застосовувати комплексні критерії оцінки ефективності. У роботах [417-426] для аналізу ефективності теплоутилізаційних систем використано комплексні методики на основі ексергетичного підходу. В роботах [417, 418] досліджено локальні ексергетичні втрати в процесах теплопровідності. Для цього застосовано комплексну методику, яка включає методи ексергетичного аналізу, методи теорії лінійних систем та теорії теплопровідності. В публікації [419] для аналізу ексергетичної ефективності комбінованої теплоутилізаційної установки використано методику на основі методів ексергетичного аналізу і теорії графів. Враховуючи універсальність ексергетичного підходу, доцільно використовувати його у різних галузях знань, розглядаючи у кожній конкретній ситуації необхідні умови його застосування. В роботах [420–425] комплексні методики на основі ексергетичного підходу застосовано для дослідження теплоутилізаційних систем різної складності.

Широке впровадження сучасних теплоутилізаційних технологій в усіх сферах народного господарства – одна з прикмет нашого часу. Але існують фактори, що стримують їх широке впровадження. Чи не найбільшу увагу серед них привертає конденсатоутворення у газовідвідних трактах котельних установок комунальної теплоенергетики при глибокому охолодженні відхідних газів, і як наслідок корозійне руйнування трактів. Корозійне руйнування газовідвідних трактів суттєво впливає на їхню надійність та зменшує ресурс експлуатації. З огляду на це, особливого значення наразі набувають проблеми вивчення методів антикорозійного захисту газовідвідних трактів, їх теплофізичного обґрунтування та підвищення ефективності застосування [426–429]. Для запобігання корозійному руйнуванню відвідних газоходів і лимових труб котельних установок застосовуються теплові методи, що забезпечують зниження вологості відхідних газів і тим самим запобігають конденсатоутворенню на стінках вказаних каналів при охолодженні димових

газів нижче точки роси водяної пари, що міститься в газах. До цих методів належать: метод байпасування димових газів повз теплоутилізатор, повітряний метод та метод підсушування газів. Підвищення ефективності теплових методів антикорозійного захисту газовідвідних трактів передбачає проведення системних досліджень на основі сучасних підходів. Як було вказано, одним із результативних підходів для дослідження ефективності енергетичних установок є ексергетичний. В роботі [426] наведено деякі результати застосування комплексних методик на основі ексергетичного підходу для аналізу ефективності теплових методів захисту газовідвідних трактів котельних установок. Однак залишаються невирішеними питання, пов'язані з більш детальними дослідженнями ексергетичних характеристик теплоутилізаційних систем при застосуванні теплових методів захисту. Такі дослідження дозволяють розвивати методи ексергетичного аналізу та підвищувати ефективність енергетичного устаткування.

В даній роботі встановлено закономірності впливу параметрів одного з теплових методів антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок (методу підсушування) на ексергетичну ефективність теплоутилізаційної системи котельної установки. Для вирішення цієї проблеми для основних елементів котельної установки, в якій реалізовано метод підсушування димових газів, розроблено структурну схему з ідентифікацією ексергетичних потоків між елементами структури. На основі структурної схеми складено ексергетичне балансове рівняння, за допомогою якого розраховано ексергетичні характеристики, що необхідні для аналізу ексергетичної ефективності при реалізації методу підсушування. Встановлено залежності ексергетичних характеристик від параметрів теплового методу підсушування та визначено оптимальні області зміни кількості підсушених димових газів і теплової потужності котла.

Сутність теплового методу підсушування димових газів для антикорозійного захисту газовідвідних трактів полягає у підвищенні температури та зниженні відносної вологості димових газів, охолоджених у теплоутилізаторі



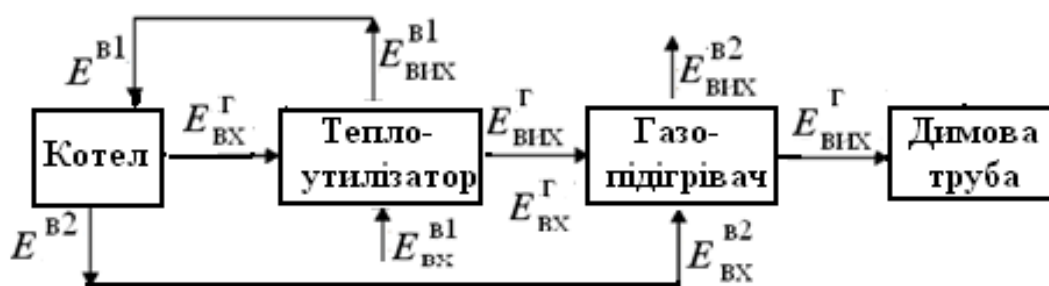
нижче температури точки роси водяної пари, що знижує інтенсивність конденсації на стінках газовідвідних трактів. З цією метою димові гази підігріваються в поверхневому теплообміннику (газопідігрівачі), встановленому за теплоутилізатором.

Розглядалися газоспоживальні опалювальні котельні установки з котлом теплопродуктивністю 2МВт та теплоутилізаторами для нагрівання тепломережевої води. У теплоутилізаційній системі реалізовано тепловий метод підсушування димових газів. Максимальна температура димових газів на вході в теплоутилізатор становить  $t = 160,0^{\circ}\text{C}$  при тепловій потужності теплоутилізатора  $Q = 62,2\text{кВт}$ , мінімальна –  $t = 147,0^{\circ}\text{C}$  при тепловій потужності теплоутилізатора  $Q = 90,7\text{кВт}$ . Температура холодної води на вході в теплоутилізатор становить:  $t = 60,0^{\circ}\text{C}$  при тепловій потужності теплоутилізатора  $Q = 62,2\text{кВт}$ ,  $t = 48,6^{\circ}\text{C}$  відповідно при  $Q = 85,4\text{кВт}$  і  $t = 35,0^{\circ}\text{C}$  при  $Q = 90,7\text{кВт}$ . Температура прямої тепломережної води на вході в газопідігрівач становить:  $t = 93,7^{\circ}\text{C}$  при тепловій потужності теплоутилізатора  $Q = 62,2\text{кВт}$ ,  $t = 71,0^{\circ}\text{C}$  при  $Q = 85,4\text{кВт}$  і  $t = 63,5^{\circ}\text{C}$  при  $Q = 90,7\text{кВт}$ .

Для дослідження ексергетичних характеристик у теплоутилізаційних системах котелень при реалізації методу підсушування використано комплексну методику на основі ексергетичного підходу. Встановлено доцільність використання зазначеного підходу в комплексній методиці, яка поєднує структурно-варіантні методи, інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу та вибір характеристик для оцінки ексергетичної ефективності теплоутилізаційної системи. Структурно-варіантні методи застосовано для розробки структурної схеми основних елементів котельної установки, в якій реалізовано метод підсушування. Інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу дозволили скласти балансове рівняння для розрахунку ексергетичних характеристик, необхідних для аналізу ексергетичних втрат при реалізації методу підсушування. В рамках комплексної методики обрано ексергетичні характеристики для оцінки ексергетичної ефективності теплоутилізаційної системи, а саме, ексергетичні втрати  $E_{\text{втр}}$  та мультиплікативний тепло-

ексергетичний критерій ефективності  $\epsilon$ , який визначає величину втрат ексергії на одиницю теплової потужності котла. Методика передбачає високу точність одержаних результатів, у середньому 0,4%.

Розроблено структурну схему для основних елементів котельної установки при реалізації методу підсушування димових газів (рис. 1). Схема включає поверхневий теплообмінник (газопідігрівач), встановлений за теплоутилізатором. У газопідігрівачі відбувається підвищення температури та зниження відносної вологості димових газів, охолоджених у теплоутилізаторі, до рівня, що забезпечує відвернення випадення конденсату на внутрішніх стінках газовідвідних трактів.



**Рисунок 1. Структурна схема основних елементів котельної установки при реалізації теплового методу підсушування димових газів**

В структурній схемі ідентифіковано вхідні та вихідні ексергетичні потоки між окремими елементами структури. На основі структурної схеми складено ексергетичне балансове рівняння для розрахунку ексергетичних характеристик для теплоутилізаційної системи при реалізації методу підсушування димових газів:

$$E_{\text{втр}} = G^2 c_p^2 (T_{\text{вх}}^2 - T_{\text{вих}}^2) - T_c G^2 c_p^2 \ln(T_{\text{вх}}^2 / T_{\text{вих}}^2) - T_c G^2 R / \mu^2 \ln(p_{\text{вх}}^2 / p_{\text{вих}}^2) + \\ + G^{\beta 2} (h_{\text{вх}}^{\beta 2} - T_c s_{\text{вх}}^{\beta 2}) - G^{\beta 2} (h_{\text{вих}}^{\beta 2} - T_c s_{\text{вих}}^{\beta 2}) - G^{\beta 1} (h_{\text{вих}}^{\beta 1} - T_c s_{\text{вих}}^{\beta 1}) + G^{\beta 1} (h_{\text{вх}}^{\beta 1} - T_c s_{\text{вх}}^{\beta 1})$$

де  $c_p$  – питома теплоємність;  $E$  – ексергія;  $G$  – витрати теплоносія;  $h$  – питома ентальпія;  $p$  – тиск;  $Q$  – тепла потужність;  $R$  – універсальна газова стала;  $s$  – питома ентропія;  $T$  – абсолютна температура,  $\mu$  – молекулярна маса. Індокси

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

верхні:  $g$ ,  $v$  – димові гази, вода,  $v_1$  – вода, що нагрівається,  $v_2$  – вода, що охолоджується. Індекси нижні:  $vx$ ,  $vix$  – вхід, вихід;  $c$  – навколишнє середовище.

З балансового рівняння визначено ексергетичні характеристики, що використовуються для аналізу ексергетичної ефективності теплоутилізаційної системи з методом підсушування: ексергетичні втрати  $E_{втр}$  та тепло-ексергетичний критерій ефективності  $\varepsilon$ , який оцінює втрати ексергії на одиницю теплової потужності теплоутилізатора  $Q$  (табл. 1). Тут  $K$  – кількість підсушуваних газів;  $\Delta$  – зміна величини.

Ексергетичні характеристики отримано при різних значеннях кількості підсушених газів  $K$  та теплової потужності теплоутилізатора  $Q$  (табл.1, рис. 2).

Менші значення ексергетичних втрат та тепло-ексергетичного критерія ефективності відповідають більшій ексергетичній ефективності теплоутилізаційної системи. При всіх значеннях теплової потужності котла величини ексергетичних втрат та тепло-ексергетичного критерія зменшуються при збільшенні витрати підсушуваних димових газів. При тепловій потужності теплоутилізатора  $Q=85,4\text{кВт}$  і  $Q=90,7\text{кВт}$  порівняно з тепловою потужністю теплоутилізатора  $Q=62,2\text{кВт}$  відбувається збільшення втрат ексергії за рахунок збільшення різниці вхідної та вихідної температур димових газів, підвищення рівня температур, збільшення витрати димових газів. Але для  $Q=90,7\text{кВт}$  при  $K\leq 20\%$  більшого впливу надає кінцевий вологовміст димових газів, тому втрати ексергії дещо знижуються порівняно з  $Q=85,4\text{кВт}$ . За всіх значень витрати підсушуваних димових газів  $K$  втрати ексергії найменші при теплопродуктивності теплоутилізатора  $Q=62,2\text{кВт}$ .

Що стосується тепло-ексергетичного критерію, то для значень  $K\leq 20\%$  найменші значення критерію ефективності спостерігаються при тепловій потужності теплоутилізатора  $Q=90,7\text{кВт}$ . При  $K>20\%$  найменші значення критерію ефективності мають місце за теплової потужності теплоутилізатора  $Q=62,2\text{кВт}$ . Отже, ефективність системи при реалізації методу підсушування

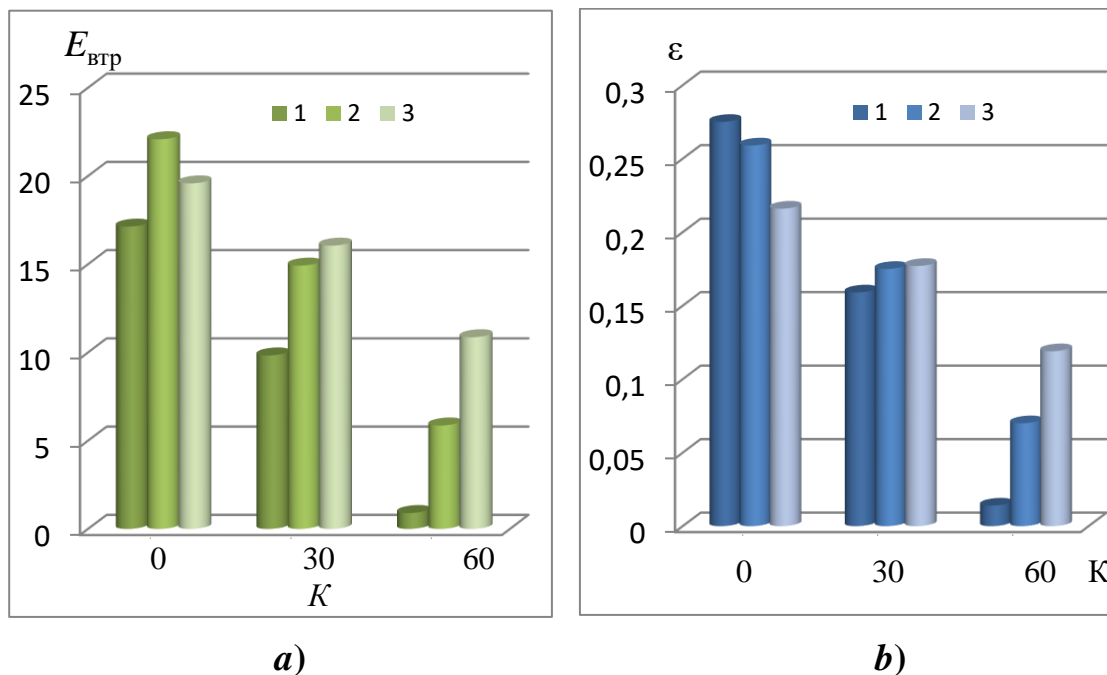
найвища при тепловій потужності теплоутилізатора  $Q = 62,2$  кВт і витрати підсушуваних димових газів  $K > 20\%$ .

**Таблиця 1. Основні вихідні дані та результати розрахунку ексергетичних характеристик для теплоутилізаційної системи при реалізації методу підсушування димових газів**

| $Q$ , кВт | $K$ , % | $\Delta E^{в1}$ , кВт | $\Delta E^{в2}$ , кВт | $\Delta E^r$ , кВт | $E_{втр}$ , кВт | $\varepsilon$ |
|-----------|---------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|---------------|
| 62,2      | 0       | 7,07                  | 0,30                  | 23,90              | 17,13           | 0,275         |
| 62,2      | 10      | 7,07                  | 0,30                  | 21,64              | 14,87           | 0,239         |
| 62,2      | 20      | 7,07                  | 0,30                  | 19,20              | 12,43           | 0,200         |
| 62,2      | 30      | 7,07                  | 0,30                  | 16,60              | 9,83            | 0,159         |
| 62,2      | 40      | 7,07                  | 0,30                  | 13,83              | 7,06            | 0,114         |
| 62,2      | 50      | 7,07                  | 0,30                  | 10,78              | 4,01            | 0,064         |
| 62,2      | 60      | 7,07                  | 0,30                  | 7,67               | 0,90            | 0,014         |
| 85,4      | 0       | 7,42                  | 0,07                  | 29,43              | 22,08           | 0,259         |
| 85,4      | 10      | 7,42                  | 0,07                  | 27,32              | 19,97           | 0,234         |
| 85,4      | 20      | 7,42                  | 0,07                  | 24,88              | 17,53           | 0,205         |
| 85,4      | 30      | 7,42                  | 0,07                  | 22,27              | 14,92           | 0,175         |
| 85,4      | 40      | 7,42                  | 0,07                  | 19,78              | 12,43           | 0,146         |
| 85,4      | 50      | 7,42                  | 0,07                  | 16,41              | 9,06            | 0,106         |
| 85,4      | 60      | 7,42                  | 0,07                  | 13,21              | 5,86            | 0,070         |
| 90,7      | 0       | 4,95                  | 0,09                  | 24,44              | 19,58           | 0,216         |
| 90,7      | 10      | 4,95                  | 0,09                  | 23,37              | 18,51           | 0,204         |
| 90,7      | 20      | 4,95                  | 0,09                  | 22,13              | 17,27           | 0,190         |
| 90,7      | 30      | 4,95                  | 0,09                  | 20,91              | 16,05           | 0,177         |
| 90,7      | 40      | 4,95                  | 0,09                  | 19,32              | 14,42           | 0,159         |
| 90,7      | 50      | 4,95                  | 0,09                  | 17,66              | 12,71           | 0,140         |
| 90,7      | 60      | 4,95                  | 0,09                  | 15,72              | 10,86           | 0,119         |

Наукова новизна отриманих результатів полягає у застосуванні комплексної методики на основі ексергетичного підходу для аналізу ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем, в яких реалізовано тепловий метод

антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок – метод підсушування охолоджених в процесі глибокої утилізації теплоти димових газів.



**Рисунок 2. Ексергетичні характеристики теплоутилізаційної системи з підсушуванням димових газів при різних значеннях теплової потужності теплоутилізатора  $Q$  і витрати підсушуваних газів  $K$ : а) ексергетичні втрати  $E_{vtr}$ ; б) тепло-ексергетичний критерій ефективності  $\epsilon$ : 1 –  $Q = 62,2$  кВт; 2 –  $Q = 85,4$  кВт; 3 –  $Q = 90,7$  кВт**

Практична цінність пов'язана з можливістю використання отриманих результатів при проектуванні теплоутилізаційних технологій з глибоким охолодженням відхідних димових газів котельних установок.

**REFERENCES**

1. Y. Safonov (2013). Housing in Ukraine: status and development trends. Digital magazine "Efficient Economy" No. 6, doi: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2102>
2. Ukrinform (2022). Invaders Destroyed or Damaged 116,000 Residential Buildings in Ukraine on 10 October. doi: <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/3527235-russian-forces-destroyed-or-damaged-115-educational-institutions-in-chernihiv-region.html> [Accessed 26 October 2022].
3. A. Leslie (2015). Unfinished Houses. Growing4Life doi: <https://growing4life.net/unfinished-houses/>
4. Luxembourg Times (2012). Extra taxes for empty housing in Luxembourg City. Luxembourg Times. doi: <https://www.luxtimes.lu/en/luxembourg/extra-taxes-for-empty-housing-in-luxembourg-city-602d53cfde135b9236777dba>
5. Government of the United Kingdom (2022). How Council Tax works. doi: <https://www.gov.uk/council-tax/second-homes-and-empty-properties>
6. Eri Sugiura (2022). Kyoto to tax empty houses as Japan's population shrinks. Financial Times. doi: <https://www.ft.com/content/9b87824b-f9a2-4098-8f59-345e174ec736>
7. «Migrant crisis: Thirteen die in ferry collision off Turkey" / British Broadcasting Corporation / September 21, 2015 // Available [website] – links: <http://www.bbc.com/news/world-europe-34307745>
8. «'Go home!' After years of Eastern European migrants starting new lives in the UK now it's the turn of their own countries to complain about new arrivals» / Tom Wyke / Dailymail / September 13, 2015 // Available [website] – links: [www.dailymail.co.uk/news/article-3232763/After-years-Eastern-European-migrants-starting-new-lives-UK-s-turn-countries-complain-new-arrivals.html](http://www.dailymail.co.uk/news/article-3232763/After-years-Eastern-European-migrants-starting-new-lives-UK-s-turn-countries-complain-new-arrivals.html)
9. «Migrant crisis: EU's Juncker announces refugee quota plan» / BBC News / September 9, 2015// Available [website] – links:<http://www.bbc.com/news/world-europe-34193568>
10. «Uchodźcy w Polsce. Prawda i mity. Najważniejsze pytania» / Super Express / September 18, 2015 // Available [website] – links:[http://www.se.pl/wiadomosci/polityka/uchodzcy-w-polsce-prawda-i-mity-najwazniejsze-pytania\\_682160.html](http://www.se.pl/wiadomosci/polityka/uchodzcy-w-polsce-prawda-i-mity-najwazniejsze-pytania_682160.html)

11. «Asylum seekers' accommodation set on fire in suspected far-right arson attack in Germany» / Lizzie Dearden / The Independent, April 4, 2015 // Available [website] – links: <http://www.independent.co.uk/news/world/europe/asylum-seekers-accommodation-set-on-fire-in-suspected-far-right-arson-attack-in-germany-10156058.html>
12. «German refugee shelter torched in 'anti-immigrant' attack» / David Hodari / The Telegraph / August 25, 2015 // Available [website] – links: <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/germany/11822816/German-refugee-shelter-torched-in-anti-immigrant-attack.html>
13. «Migrant crisis: Migration to Europe explained in graphics» / BBC News / December 22, 2015 // Available [website] – links: <http://www.bbc.com/news/world-europe-34131911>
14. «Another German migrant centre is burned to the ground in suspected arson attack as country's tolerance towards new arrivals continues to shrink» / Tom Wyke / The Daily Mail / December 18, 2015 // Available [website] [http://www.dailymail.co.uk/news/article-3365979\\_German-migrant-centre-burned-ground-suspected-arson-attack-country-s-tolerance-new-arrivals-continues-shrink.html#ixzz3vMQATYTv](http://www.dailymail.co.uk/news/article-3365979_German-migrant-centre-burned-ground-suspected-arson-attack-country-s-tolerance-new-arrivals-continues-shrink.html#ixzz3vMQATYTv)
15. Finanzamt 24 // Available [website] – links: <http://www.finanzamt24.de/Finanzamt-Nauen/>
16. «Planned German migration centre hit by arson attack» / ENCA News / 20 вересня // Available [website] – links: <https://www.enca.com/world/planned-german-migration-centre-hit-arson-attack>
17. «Eastern bloc to stand firm against EU migrant quotas» / The Telegraph / September 20, 2015 // Available [website] – links: <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/11878769/Eastern-bloc-to-stand-firm-against-EU-migrant-quotas.html>
18. «Герμανія: Еμπρηστική επίθεση σε κέντρο φιλοξενίας προσφύγων» / Cyprus Today / September 20, 2015// Available [website] – links: <http://cytoday.eu/index.php?id=17&nid=9289076>
19. «Planned German migration centre hit by arson attack» / ENCA News / 20 вересня // Available [website] – links: <https://www.enca.com/world/planned-german-migration-centre-hit-arson-attack>
20. «Герμανія: Еμπρηστική επίθεση σε κέντρο φιλοξενίας προσφύγων» / Cyprus Today / September 20, 2015// Available [website] – links: <http://cytoday.eu/index.php?id=17&nid=9289076>
21. Вальд А. Последовательный анализ. - М.: ФИЗМАТГИЗ, 1960. - 328 с.
22. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів: навчальний посібник. - К.: КНУБА, 2003. - 216 с.

23. Гихман И. И., Скороход А. В., Ядренко М. И. Теория вероятностей и математическая статистика. - К.: Выща школа, 1988. - 439 с.
24. Гладілін В. М., Гончаренко О. С., Шудра Н. С. Моделювання імовірності розподілу кутових нев'язок в мережі триангуляції// Вісник астрономічної школи. - 2014. - Т 10, № 1. - С. 79 — 84.
25. Гладілін В. М., Шудра Н. С., Дубкова А. О. Ймовірно – статистичний послідовний аналіз результатів геодезичних вимірів// Вісник астрономічної школи. - 2014. - Т 13, № 2. - С. 116 — 122.
26. Гладілін В. М., Гладіліна Н. М., Ковтун М. Т. Обґрунтування середнього арифметичного, залежного від структури розподілу вимірювання кутів.// Вісник геодезії та картографії. – 1996. - № 2(6). – С.28-36.
27. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, та 1:500 ГКНТА — 2.04 — 02 — 98. К.: Укргеодезкартографія, 1999.- 156 с.
28. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. -М.: Наука, 1983. - 416 с.
29. Тихонов В. И., Миронов М. А. Марковские процессы. - М.: Советское радио, 1977. - 488 с.
30. Viduev N.G., Kondra G.S. Probabilistic - statistical analysis of measurement errors. М.: Nedra, 1969. - 320 p.
31. Sachs Lothar. Statistische Aswertungsmethoden. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1972. - 600 p.
32. Gladilin V., Belenok V., Kryachok S., Siroshtan T., Hamalii I. New Formula for Finding the Correlation Coefficient in Geodetic Measurements for a Small Number of Observations. Geodetski list, 2022, 2, p. 153-168.
33. Gladilin V. Structural method for determining deformations by geodetic measurements. Geodesy and Cartography Vol. 45 № 2, (2019). – P. 92 – 95. Doi.org/10.3846/gac2019.6692
34. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2018.
35. ДБН В.1.2-12-2008. Система надійності та безпеки в будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2008.
36. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. – Київ : Мінбуд України, 2006.
37. Felder, S.; Islam, N. Hydraulic Performance of an Embankment Weir with Rough Crest. J. Hydraul. Eng. 2017, 143, 04016086.



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

38. Hager, W.H.; Schwalt, M. Broad-crested weir. *J. Irrig. Drain. Eng.* 1994, 120, 13–26
39. Tracy, H.J. *Discharge Characteristics of Broad-Crested Weirs*; US Department of the Interior, Geological Survey: Washington, DC, USA, 1957.
40. Isaacs, L.T. *Effects of Laminar Boundary Layer on a Model Broad-Crested Weir*; University of Queensland: Brisbane, Australia, 1981.
41. Horton, R.E.; Murphy, E.C. *Weir Experiments, Coefficients, and Formulas*; US Government Printing Office: Washington, DC, USA, 1906.
42. Kindsvater, C.E. *Discharge Characteristics of Embankment-Shaped Weirs*; US Government Printing Office: Washington, DC, USA, 1964.
43. Fritz, H.M.; Hager, W.H. Hydraulics of embankment weirs. *J. Hydraul. Eng.* 1998, 124, 963–971.
44. Sargison, J.E.; Percy, A. Hydraulics of broad-crested weirs with varying side slopes. *J. Irrig. Drain. Eng.* 2009, 135, 115–118
45. Azimi, A.H.; Rajaratnam, N.; Zhu, D.Z. Discharge Characteristics of Weirs of Finite Crest Length with Upstream and Downstream Ramps. *J. Irrig. Drain. Eng.* 2013, 139, 75–83.
46. Hakim, S.S.; Azimi, A.H. Hydraulics of Submerged Triangular Weirs and Weirs of Finite-Crest Length with Upstream and Downstream Ramps. *J. Irrig. Drain. Eng.* 2017, 143.
47. Sarker, M.A.; Rhodes, D.G. Calculation of free-surface profile over a rectangular broad-crested weir. *Flow Meas. Instrum.* 2004, 15, 215–219.
48. Kirkgoz, M.S.; Akoz, M.S.; Oner, A.A. Experimental and theoretical analyses of two-dimensional flows upstream of broad-crested weirs. *Can. J. Civ. Eng.* 2008, 35, 975–986.
49. Haun, S.; Olsen, N.R.B.; Feurich, R. Numerical Modeling of Flow Over Trapezoidal Broad-Crested Weir. *Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.* 2011, 5, 397–405.
50. Akoz, M.S.; Gumus, V.; Kirkgoz, M.S. Numerical Simulation of Flow over a Semicylinder Weir. *J. Irrig. Drain. Eng.* 2014, 140.
51. Duguay, J.M.; Lacey, R.W.J.; Gaucher, J. A case study of a pool and weir fishway modeled with OpenFOAM and FLOW-3D. *Ecol. Eng.* 2017, 103, 31–42.
52. Ferziger J and Peric M (1997). *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Springer, Verlag, Berlin.
53. Chen, Y.; Fu, Z.; Chen, Q.; Cui, Z. Discharge Coefficient of Rectangular Short-Crested Weir with Varying Slope Coefficients. *Water* 2018, 10, 204.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

54. <https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-zatverdiv-koncepciyu-vprovadzhennya-v-ukrayini-vim-tehnologij-u-budivnictvi>
55. <https://pbe.ua/vprovadzhennya-vim-tehnology-v-ukrani-60>
56. Wing Eric Autodesk Revit 2017 for Architecture/ Wing Eric, 2017. – 297с.
57. Allplan Краткий курс BIM. Теория и практика. AnkeNiedermaier, RobertBack. Мюнхен, 2016.
58. Eastman Chuck, Teicholz Poul, Sacks Rafael, Liston Kathleen. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. – New Jersey: Weley, 2011. – 648 p.
59. Навчальний посібник: Інформаційні технології в проектуванні /Бажанова А.Ю., Лазарева Д.В., Сур'янінов М.Г., Одеса, ОДАБА, 2018. — 290 с.
60. BIM Journal (2010) “How Academia has Responded: a Case Study”, [Online], Available: <http://bimjournal.com/art.asp?art=39&issue=13>.
61. Denzer, A. S. and Hedges, K. E. (2008) “From CAD to BIM: Educational strategies for the coming paradigm shift”, AEI 2008: Building Integrated Solutions
62. Dicker, J. and Snyder, G. (2008) “IP/BIM comprehensive design studio”, Available: <http://www.uwm.edu/SARUP/syllabi/architecture/825-fall2008-bim.pdf>, AEI 2008: Building Integrated Solutions
63. Hietanen, J. and Drogemuller, R. (2008) “Approaches to a university level BIM education”, IABSE Conference, 2008, Helsinki.
64. Sacks, R. and Barak, R.. (2010) “Teaching Building Information Modeling as an Integral Part of Freshman Year Civil Engineering Education”, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice.
65. Scheer, D. R. (2006) “From an Educational Perspective: BIM in the Architectural Curriculum”, Government/Industry Forum, October 31, 2006, Washington: National Academies' Federal Facilities Council.
66. Weber, D. and Hedges K.E. (2008) “From CAD to BIM: The engineering student perspectives”, AEI 2008: Building integrated solutions Reston, VA: ASCE.
67. Akan O. Sizing Stormwater Infiltration Structures. Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 128, No. 5. 2002 pp. 534. – 537.
68. Bennis S., Crobeddu E. New runoff simulation model for small urban catchments. Journal of Hydrologic Engineering. Vol. 12 (5), 2007. P. 540–544.
69. Guo J.C.Y. Hydrology-based approach to storm water detention basin design using new routing schemes. Hydrologic Engrg. Vol. 9, N 4, 2004. pp. 333–336.
70. Guo, J. Drain time for porous stormwater basin. Journal of Hydrologic Engineering. Volume 25, Issue 5, 1 May 2020, Article number 04020017.

71. Dziopak J. Analiza teoretyczna i modelowanie wieloko morowychz biorników kanalizacyjnych: monografia. Kraków: Politechnika Krakowskaim. Tadeusza Kościuszki, 1992. 214 s. 1.
72. Dziopak J. Analiza teoretyczna i modelowanie wielokomorowych zbiorników kanalizacyjnych. Kraków: Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Monografia 125, 1992. p. 214.
73. Ibrahim Y.A. Managing Stormwater as a Complex Adaptive System. Journal of Hydrologic Engineering. Volume 24, Issue 10, 1 October 2019, Article number 04019040.
74. Nix, S.J., 1994. Urban Stormwater Modelling and Simulation. Lewis Publishers, Boca Raton.
75. ZhukV., Vovk L., Matlai I., Popadiuk I., Mysak I., Fasuliak V. Dependency between the total and effective imperviousness for residential quarters of the Lviv city. Journal of Ecological Engineering. 2020. Vol. 21 (5). p. 56–62 doi.org/10.12911/22998993/122191 (Scopus).
76. Zoppou C. Review of urban storm water models. Environmental Modelling & Software. 2001. Vol 16. P. 195–231
77. Demchyna B., Vozniuk L., Surmai M. (2019). Conditions of existing residential buildings 50–60 years and mistakes of their construction. Theory and Building Practice, Lviv, Vol.1, No.1, 43-49. doi: <https://doi.org/10.23939/jtbp2019.02.043>.
78. Demchyna B., Vozniuk L. (2020). Emergency condition of loggies in buildings with supporting brick walls . Theory and Building Practice, Lviv, Vol.2, No.2, 28-34.
79. Klimenko V.Z., Belov I.D. (2005). Vyprovuvannia ta obstezhennia budivelnykh konstruksii i sporud. Osnova, Kyiv. 207 p (in Ukrainian).
80. Barashykov A.Ia. (1998). Otsenka tekhnicheskoho sostoianiya stroytelnykh konstruksii zdanyi y sooruzhenyi, NMTs Dernahliadokhoronpratsi Ukrainy, 238 p.
81. Shmukler V., Honcharenko D., Konstantynov A., Zynchenko V. (2013). Vosstanovlenye krupnopanelnoho zdanyia, razrushennoho vrezultate tekhnohennoi katastrofy. Promyslove budivnytstvo ta inzhenernisporudy. Vol.2. 34-39 pp.
82. Vozniuk L.I. (2022). Technical condition of building structures of structures at sites of technological maintenance of pipelines. Theoretical and scientific foundations in research in engineering: collective monograph / L. Vozniuk, G. Hnat, A. Moudra, R. Rubai and other – Boston: Primedia eLaunch, 543 p.
83. Hladyshv H., Hladyshv D. (2022). Vyznachennia zony teplovoho vplyvu pozhezhi za rezultatamy obstezhennia konstruksii perekryttia / Zbirnyk naukovykh prats „Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka”, №10. Kyiv, KNUBA, 2022. 32-41 pp. DOI: 10.32347/2522-4182.10.2022.32-41. (in Ukrainian).

84. Otrosh Yu.A. (2016). Otsinka tekhnichnoho stanu stin i perekryttiv zhytlovykh budynkiv pislia pozhezhi / Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo, vyp. 1 (46), Poltava, PoltNTU, 212-220 pp. (in Ukrainian).
85. Sarja A. (2003). Lifetime performance modeling of structures with limit state principles / A. Sarja // Proc. of 2nd Intern. Symposium ILCDES 2003, Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures. – Finland, Kuopio: Association of Finnish Civil Engineers, 2003. 59-66 pp.
86. Banaszek, A., Banaszek, S., & Cellmer, A. (2017). Possibilities of use of uavs for technical inspection of buildings and constructions / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 95, No. 3. DOI: 10.1088/1755-1315/95/3/032001.
87. Vikhot S.I., Vybranets Yu.Iu., Mudryi I.B., Burchenia S.P. (2020) Rezultaty tekhnichnoho obstezhennia hromadskoi budivli po vul. Ulasa Samchuka u m. Lvovi / Visnyk „Arkhitektura ta budivnytstvo”, seria „Tekhnichni nauky”, vyp. 2 (90), Rivne, NUVHP, 144-154 pp. DOI: 10.31713/vt2202014 (in Ukrainian).
88. Hladyshev D.H., Hladyshev H.M. (2012) Doslidzhennia tekhnichnoho stanu budivel, sporud ta yikh elementiv: monohrafiia. – Lviv, vyd-vo Lvivskoi politekhniky, 304 p.(in Ukrainian).
89. Klymenko Ye.V. (2011) Vyznachennia tekhnichnoho stanu budivel i sporud / Bbudivelni konstruktsii, vyp. 54, Kyiv: NDIBK, 301-305 pp. (in Ukrainian).
90. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. – Kyiv: DP ”UkrNDND.
91. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh obiektiv. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. – Kyiv: Minbud Ukrainy.
92. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh obiektiv. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. – Kyiv: Minbud Ukrainy.
93. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. – Kyiv: DP ”UkrNDND.
94. Klymenko Ye.V. (2011) Vyznachennia tekhnichnoho stanu budivel i sporud / Bbudivelni konstruktsii, vyp. 54, Kyiv: NDIBK, 301-305 pp. (in Ukrainian).
95. Vozniuk L.I. (2022). Technical condition of building structures of structures at sites of technological maintenance of pipelines. Theoretical and scientific foundations in research in engineering: collective monograph / L. Vozniuk, G. Hnat, A. Moudra, R. Rubai and other – Boston: Primedia eLaunch, 543 p.
96. Shmukler V., Honcharenko D., Konstantynov A., Zynchenko V. (2013). Vosstanovlenye krupnopanelnoho zdanyia, razrushennoho vrezultate tekhnohennoi katastrofy. Promyslove budivnytstvo ta inzhenernisporudy. Vol.2. 34-39 pp.

97. Hladyshev H., Hladyshev D. (2022). Vyznachennia zony teplovoho vplyvu pozhezhi za rezultatamy obstezhennia konstruktsii perekryttia / Zbirnyk naukovykh prats „Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka”, №10. Kyiv, KNUBA, 2022. 32-41 pp. DOI: 10.32347/2522-4182.10.2022.32-41. (in Ukrainian).
98. Barashykov A.Ia. (1998). Otsenka tekhnicheskoho sostoianiya stroytelnykh konstruktsii zdanyi y sooruzhenyi, NMTs Dernahliadokhoronpratsi Ukrainy, 238 p.
99. Demchyna B., Vozniuk L., Surmai M. (2019). Conditions of existing residential buildings 50–60 years and mistakes of their construction. Theory and Building Practice, Lviv, Vol.1, No.1, 43-49. doi: <https://doi.org/10.23939/jtbp2019.02.043>.
100. Demchyna B., Vozniuk L. (2020). Emergency condition of loggies in buildings with supporting brick walls . Theory and Building Practice, Lviv, Vol.2, No.2, 28-34.
101. Klimenko V.Z., Belov I.D. (2005). Vyprobuvannia ta obstezhennia budivelnnykh konstruktsii i sporud. Osnova, Kyiv. 207 p (in Ukrainian).
102. Otrosh Yu.A. (2016). Otsinka tekhnichnoho stanu stin i perekryttiv zhytlovykh budynkiv pislia pozhezhi / Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo, vyp. 1 (46), Poltava, PoltNTU, 212-220 pp. (in Ukrainian).
103. Sarja A. (2003). Lifetime performance modeling of structures with limit state principles / A. Sarja // Proc. of 2nd Intern. Symposium ILCDES 2003, Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures. – Finland, Kuopio: Association of Finnish Civil Engineers, 2003. 59-66 pp.
104. Banaszek, A., Banaszek, S., & Cellmer, A. (2017). Possibilities of use of uavs for technical inspection of buildings and constructions / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 95, No. 3. DOI: 10.1088/1755-1315/95/3/032001.
105. Vikhot S.I., Vybranets Yu.Iu., Mudryi I.B., Burchenia S.P. (2020) Rezultaty tekhnichnoho obstezhennia hromadskoi budivli po vul. Ulasa Samchuka u m. Lvovi / Visnyk „Arkhitektura ta budivnytstvo”, seriia „Tekhnichni nauky”, vyp. 2 (90), Rivne, NUVHP, 144-154 pp. DOI: 10.31713/vt2202014 (in Ukrainian).
106. Hladyshev D.H., Hladyshev H.M. (2012) Doslidzhennia tekhnichnoho stanu budivel, sporud ta yikh elementiv: monohrafiia. – Lviv, vyd-vo Lvivskoi politekhniky, 304 p.(in Ukrainian).
107. Чечельницький С.Г. Методологічні основи візуальної екології архітектурного середовища: Дис... доктора архітектури: 18.00.01; – Захищена 23.12.2011. – Х., 2011. – 373 с.
108. Фоменко О.О. Морфологична інформативність архітектурного образу. Монографія. – Х.: Торсінг, 2002. – 312 с.: іл.
109. Гутнов А.Э., Глазичев В.Л. Мир архитектуры: обличья міста. – М.: Молода гвардія, 1990. – 350 с., іл.

110. Скриль І.Н., Скриль С.І. Основи архітектурної світлології (розрахунок і проектування природного, штучного й суміщеного освітлення та інсоляції): Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 2006. – 214 с.: іл.
111. Василенко О.Б. Методологічні основи формування комплексу світлових заходів в архітектурі житлових та громадських будівель: Дис... доктора архітектури: 18.00.02; – Захищена 26.03.2015. – К., 2015. – 407 с.
112. Водний фонд України: Штучні водойми — водосховища і ставки: Довідник/ за ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. — К.: Інтерпрес, 2014. — 164 с.
113. Водний кодекс України. Верховна рада України. 06.06.1995 № 213/95-ВР.
114. Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС./ за ред. С.О. Афанасьєва. – Київ, 2012 – 28 с.
115. Хільчевський В. К., Чунар'ов О. В., Ромась М. І. та ін. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / За ред. В. К. Хільчевського. Київ : Ніка-центр, 2009. 184 с.
116. <http://geoportal.davr.gov.ua:81/#waterHouseholdSidebar>
117. Brown AV, Brown KB, Jackson DC, Pierson WK. 2005. Lower Mississippi River and its tributaries. In Rivers of North America, Benke AC, Cushing CE (eds). Elsevier, Inc.: Burlington, Massachusetts; 231–281.
118. de Groot RS, Wilson MA, Boumans RMJ. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393–408.
119. Dingman SL. 2002. *Physical Hydrology*, 2nd edn. Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey.
120. Noss RF. 2004. Some suggestions for keeping national wildlife refuges healthy and whole. *Natural Resources Journal* 44: 1093–1111.
121. Pringle C. 2003. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important? *Hydrological Processes* 17: 2685–2689. DOI:10.1002/hyp.5145
122. Основи гідроекології: теорія й практика [Текст] : навч. посіб. / М. В. Боярин, І. М. Нетробчук. – Луцьк : Вежа-Друк, 2016. – 365 с
123. Раціональне використання та відновлення водних ресурсів. Монографія/ За заг.ред. Фещенка В.П. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2016.– 250с, іл.
124. Аалто Алвар. Архитектура и гуманизм: Сб. статей / Пер. с фин., англ., франц. и нем., под ред. А.П. Гозака. – М.: «Прогресс», 1978. – 221 с.
125. Чечельницький С.Г. Методологіческие основы визуальной экологии архитектурной среды: Дис... доктора архитектуры: 18.00.01; – Захищена 23.12.2011. – Х., 2011. – 373 с.

126. Юров С.Г. Некоторые вопросы метрики и методики экспертных субъективных оценок психоэстетических параметров световой среды // Светотехника. – 1974, № 9. – С. 2-4.
127. Азгальдов Г.Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании / Г.Г. Азгальдов. – М.: Стройиздат, 1989. – 264 с.: ил.
128. Бадюл М.Г. Применение методов системного подхода и системного анализа для оценки архитектурно-планировочных решений // Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті: Зб. наук. праць. – Х.: ХДАДМ, 2012, № 1. – С. 47 – 51.
129. Василенко О. Б. Методи дослідження світлової складової архітектурних систем / О. Б. Василенко // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – К., КНУБА, 2016. - Вип. 42. - С. 5-10.
130. Василенко О.Б. Методологічні основи формування комплексу світлових заходів в архітектурі житлових та громадських будівель: Дис... доктора архітектури: 18.00.02; – Захищена 26.03.2015. – К., 2015. – 407 с.
131. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза [Текст] / А.А. Колесников – М.: УРСС: КомКнига, 2006. – 240 с.
132. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: электроэнергетические системы [Текст] / А.А. Колесников – М.: УРСС: КомКнига, 2006. – 248 с.
133. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. [Текст] / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985. – 423 с.
134. Пригожин И. От существующего к возникающему [Текст] / И. Пригожин. – М.: Наука, 1985. – 328 с.
135. Климонтович Н.Ю. Без формул о синергетике [Текст] / Н.Ю. Климонтович. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – 223 с.
136. Колесников А.А. Синергетическая теория управления [Текст] / А.А. Колесников. – Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.
137. Малинецкий Г., Потапов А., Современные проблемы нелинейной динамики [Текст] / Г. Малинецкий, А. Потапов. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 328 с.
138. Grassberger P. Characterization of strange attractors [Text] / P. Grassberger, I. Procaccia. – Phys. Rev. Lett. 50, 1983. – 346 – 349 p.p.
139. F. Takens Detecting Strange Attractors in Turbulence [Text] / F. Takens. – Lecture Notes in Math. Vol. 898, Springer, New York 1981.
140. T. Sauer Embedology [Text] / T. Sauer, J. Yorke, M. Casdagli. – J. Stat. Phys. 65, 1991. – 579 p.

141. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала [Текст] / Э. Петерс. – М.: Мир, 2000. – 305 с.
142. Жердев М.К. Напрями розвитку систем контролю технічного стану і діагностування складних технічних систем/ М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, І.В.Памуха, О.Ю.Скуйбіда//Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К, 2006 - №3, ст..22-25.
143. Охтилев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов // Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. - М. : Наука, 2006. - 410 с.
144. Зігунов О.М. Фільтрація оперативної інформації в підсистемі технологічного моніторингу дифузійним відділенням цукрового заводу/ Зігунов О.М., Кишенько В.Д. // Східно-Європейський журнал передових технологій. - Харків, 2010. - 1/7 (43). - С. 10-13.
145. Зігунов О.М. Аналітичні задачі підсистеми технологічного моніторингу дифузійного відділення цукрового заводу / О.М.Зігунов, В.Д. Кишенько // Цукор України. – 2012. - № 6 – 7 (78-79). – С. 32-37.
146. Кишенько В.Д. Интеллектуальное управління технологічними комплексами на основі сценарного підходу / Кишенько В.Д., Смітюх Я.В., Місюра М.Д. // Тези доповідей учасників Міжнародної науково – практичної конференції “Інтеллектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології”, м. Чернівці, 2004р. - С. 19-20.
147. Anisimov V.V. Switching Processes in Queueing Models / Vladimir V. Anisimov. – ISTE Ltd, 2008. – 343 p.
148. Berman Simeon M. Extreme sojourns of diffusion processes / S. M. Berman // Ann. Probab. – 1988. – v. 16: № 1. – P. 361-374.
149. Breuer L. The Periodic BMAP/PH/c Queue./ L. Breuer // Queueing Syst. – 2001. – № 38(1). – P. 67-76.
150. Breuer L. Two examples for computationally tractable periodic Queues / L. Breuer // I. J. of Simulation. – 2004. – Vol.3: № 3-4. – P. 15-24.
151. Clark A.B. A waiting line process of Markov type / A.B. Clark // Ann. Math. Statistics. – 1956. – Vol. 27, №2. – P. 452-459.
152. Eenige M.J.A. Queueing Systems with Periodic Service / M.J.A. van Eenige. – Eindhoven, The Netherlands, 1996. – 162 p.
153. Erlang A.K. Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges / A.K. Erlang // The Post Office Electrical Engineers Journal. – 1917-18. – Vol. 10. – P. 189-197.



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

154. Falin G. Periodic queues in heavy traffic / G. Falin // *Adv. Appl. Probab.* –1989. – № 21(2). – P. 485-487.
155. Giorno V., On some time-non-homogeneous diffusion approximation to queuing systems / V. Giorno, A.G. Nobile, L.M. Ricciardi // *Adv. Appl. Probab.* – 1987. – Vol. 17, №4. – P. 974-994.
156. Gordon W.J. Closed Queueing Systems with Exponential Servers / W.J. Gordon, G.F. Newell // *Oper. Res.* – 1967. – Vol. 15, № 2. – P. 254-265.
157. Granovsky B.L. Quasi-ergodic Nonstationary Queues / B.L. Granovsky, A.I. Zeifman // *Информационные процессы.* – 2002. – Т. 2, № 2. – ст. 182-185.
158. Harlamov B.P. On statistics of continuous Markov processes: semi-Markov approach / B.P. Harlamov // *Probability theory and math. statistics.* – 1990. – Vol. 1. – P. 504-511.
159. Harrison J.M. Limit theorems for periodic queues / J.M. Harrison, A.J. Lemoine // *J. Appl. Prob.* – 1977. – № 14. – P. 566-576.
160. Hasofer A. On the single-server queue with nonhomogeneous and general service time / A. Hasofer // *J. Appl. Probab.* – 1964. – Vol. 1. – P. 369-384.
161. Heyman D.P. The asymptotic behavior of queues with time-varying arrival rates / D.P. Heyman, W. Whitt // *J. Appl. Prob.* – 1984. – №Vol. 21, №1. – P. 143-156.
162. Kelly F.P. Modelling communication networks, present and future / F.P. Kelly // *Proc. R. Soc.* – 1995. – bond. A, Vol. 444. – P. 1-20.
163. Konakov V.D. Local limit theorem on convergence of Markov chain to diffusion processes / V.D. Konakov // *Front. Pure and Appl. Probab.: Proc 3. Finn.-Sov. Symp. Probab. Theory and Math. Statist.* – 1993. – P. 112-134.
164. Литвиненко Н.І. Рекомендації щодо створення та впровадження геоінформаційної системи Сухопутних військ Збройних Сил України. Системи обробки інформації. 2015. № 8(133). С. 73-76.
165. Головлев Э.Ю., Фурманов К.В., Казмирчук Р.В. К вопросу выбора рационального состава системы топогеодезического и навигационного обеспечения войск (сил) при внедрении геоинформационной системы ВС Украины. Системи озброєння і військова техніка. 2009. № 4(20). С.37–40.
166. Geospatial intelligence (geoint) basic doctrine (National System for Geospatial Intelligence), Publication 1.0, April 2018. – 48 p.
167. NATO Standard AJP-3.17 Allied Joint Doctrine for geospatial support Edition A, Version 1 NSO, October 2016. – 34 p.

168. Я.М. Кожушко, Г.В. Мегельбей, А.І. Резниченко, Ю.А. Олійник Підвищення ролі радіоелектронної боротьби за досвідом локальних війн. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2012. № 3(32). С. 79-81.
169. Я.Н. Кожушко, А.И. Резниченко, Ю.А. Олейник, А.А. Михайлик Тенденции развития авиационных средств радиоэлектронной борьбы военно-воздушных сил Соединенных Штатов Америки. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2011. № 2(6). С. 44-48.
170. М.Ф. Пічугін, Д.А. Іщенко, О.О. Клімішен, Я.М. Кожушко Оцінка можливостей виявлення об'єктів космічними засобами дистанційного зондування землі в інтересах інформаційного забезпечення груп космічної підтримки збройних сил. Системи озброєння і військова техніка. 2018. № 3 (55). С. 28-36. DOI: 10.30748/soivt.2018.55.04
171. М.Ф. Пічугін, Д.В. Карлов, О.О. Клімішен, Я.М. Кожушко Огляд програм та вимог керівних документів країн НАТО стосовно космічної ситуаційної обізнаності. Збірник наукових праць ХУПС. 2017. Вип. 2 (51). С. 59-63. DOI: 10.30748/zhups.2017.51.11
172. Кирилюк В. А. Критерій вибору дальності винесення станції перешкод відносно об'єкта, що прикривається / В. А. Кирилюк, О. Л. Сидорчук, О. С. Корняков // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. пр. – Житомир: ЖВІ НАУ, 2010. – спецвип. 1. – с. 13 – 21.
173. Кирилюк В. А. Критерій вибору позиції станції перешкод бортовим радіолокаційним станціям / В. А. Кирилюк // Труды університету: Зб. наук. праць. – Київ: НУОУ, 2011. – № 1 (103). – С. 155-160.
174. Данилович О.С. Проектирование цифровых радиорелейных линий. Расчет показателей качества передачи: учеб. пособие / О.С. Данилович // СПб: Линк, 2009. - 76 с.
175. Данилович О.С. Сравнительный анализ методов оценки влияния интерференционных замираний на интервалах цифровых РРЛ / О.С. Данилович, Н.Н. Бабин // Телекоммуникации. Спец. выпуск. 2013. С. 34 - 46.
176. Бабин Н.Н. Оптимизация мощностей передатчиков и частотно-территориального планирования на сетях радиосвязи со звездообразной топологией / Н.Н. Бабин, Д.А. Данилович, О.С. Данилович // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. 2012 г., № 4 (24). С. 67 - 75.
177. Антонов Л.А. Проверка допустимости пролетов и высот антенн на цифровых РРЛ ДМ диапазона / Л.А. Антонов, О.С. Данилович // Труды учебных заведений связи - СПбГУТ. 1997. - № 163.- С. 150 - 156.

178. М.Ф. Пічугін, Я.М. Кожушко, Д.А. Іщенко, В.А. Кирилюк, С.Д. Іщенко Удосконалений підхід до оцінювання носіїв спроможностей радіоелектронної боротьби за складовою вартості життєвого циклу. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3(44). С. 131-140. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.15>.
179. М.Ф. Пічугін, Я.М. Кожушко, Д.А. Іщенко, В.А. Кирилюк, О.О. Клімішен Підхід до оцінювання носіїв спроможностей радіоелектронної боротьби, необхідних для виконання завдань радіоелектронного подавлення. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 2(43). С. 31-37. DOI: 10.30748/nitps.2021.43.04
180. М.Ф. Пічугін, Д.А. Іщенко, В.А. Кирилюк, Я.М. Кожушко Побудова спеціалізованого шару параметрів рельєфу місцевості у геоінформаційній системі для планування дій радіоелектронних засобів в умовах радіоелектронної боротьби. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України 2020. № 3(40). С. 124-131. DOI: 10.30748/nitps.2020.40.14
181. Радзиевский В. Г. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / В. Г. Радзиевский, А. А. Агафонов. – М. : Радиотехника, 2006. – 424 с.
182. Калинин А. И. Распространение радиоволн и работа радиолиний / А. И. Калинин, Е. Л. Черенкова. – М. : Связь, 1971 – 439 с.
183. База даних. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/База\\_даних](https://uk.wikipedia.org/wiki/База_даних) (дата звернення 28.05.2022).
184. Программы серверы. URL: <https://tehnar.net.ua/programmyi-serveryi/> (дата звернення 28.05.2022).
185. ХАМРР. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ХАМРР> (дата звернення 28.05.2021).
186. Подробный Обзор Веб-Сервера Apache. URL: <https://www.hostinger.com.ua/rukovodstva/web-server-apache/> (дата звернення 28.05.2022).
187. phpMyAdmin. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/PhpMyAdmin> (дата звернення 28.05.2022).
188. Ефименко А.В. Инновационная система ЗТМ для разработки грунта на основе GPS технологи. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование – Днепр: ГБУЗ «ПГАСА», 2018, С. 69-74.
189. Commuri S., Mai A.T., Zaman M. Calibration Procedures for the Intelligent Asphalt Compaction Analyzer. ASTM Journal of Testing and Evaluation, 37(5), 2009.

190. Kahmen H., G. Retscher. Precise 3-D Navigation of Construction Machine Platforms. in: Papers presented at the 2nd International Workshop on Mobile Mapping Technology, April 21-23, 1999, Bangkok, Thailand, pp. 5A.2.1-5A.2.5.
191. Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press, Moscow 1998, pp. 11-30.
192. Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm>
193. Spectra Precision. The Next Dimension in Machine Control: Spectra Precision BladePro 3D and GPS 3D. Technical Notes, Spectra Precision Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.splp.com/BladePro3D.HTM> (дата звернення: 22.03.2022).
194. Kahmen H., G. Retscher. Precise 3-D Navigation of Construction Machine Platforms. in: Papers presented at the 2nd International Workshop on Mobile Mapping Technology, April 21-23, 1999, Bangkok, Thailand, pp. 5A.2.1-5A.2.5.
195. Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press, Moscow 1998, pp. 11-30.
196. Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm> (дата звернення: 23.03.2022).
197. Кононыхин А., Петренко Ю.А. Маркозов Д.О., Марченко В.В. Модели выбора программных средств системы спутникового мониторинга транспорта в условиях интервальной неопределенности // Технология приборостроения. – 2017. – № 1. – С. 34–36.
198. Крючковский В.В. Введение в нормативную теорию принятия решений. Методы и модели: монография / В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н. А. Соколова, В.Е. Ходаков; под ред. Э. Г. Петрова.- Херсон: Гринь Д.С., 2013. -284 с.
199. Ворошилов, С., Коломійцев, О., Жуйков, Д., Семенюк, В., Авдєєв, В., Меленті, Є., ... & Шумейко, О. (2022). Інтерактивний навчально-тренувальний комплекс з вогневої підготовки. Scientific Collection «InterConf», (102), 43-52.
200. Дуденко, С., Дзевєрін, І., Рябуха, Ю., Коломійцев, О., Місюра, О., Третяк, В., Голубничий, Д., Коцюба, В., Мегельбей, Г., & Тах'ян, К. (2022). Структурна модель інформаційно-освітнього середовища "Діалог" при традиційному та дистанційному навчанні. InterConf, (95), 777-790. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.01.2022.086>

201. Жушков Д.Б., Семенюк В.І. Авдєєв В.Ф., Висоцький О.В., Двухіменний О.Г., Житник Д.С., Степченко Д.А. Аналіз нових інформаційних та комп'ютерно-тренажерних технологій розробки та використання існуючих інтерактивних навчально-тренувальних комплексів” // InterConf, (58), 2021, 338-357 <https://doi.org/10.51582/interconf.21-22.05.2021>.
202. ISO/IEC 18031:2005. Information technology – Security techniques – Random bit generation (Інформаційні технології – Методи захисту – Генерація випадкових бітів).
203. Методы и средства генерации случайных битовых последовательностей [Текст] : Под ред. д.т.н., проф. Горбенко И.Д. / А.А.Торба, А.А. Бобкова, Ю.И. Горбенко, В.А. Бобух. – Харьков: Изд-во «Форт», 2012.– 232 с.
204. Деклараційний патент України № 50386 А, опубл. Бюл. № 10, 2002г.
205. Патент України на корисну модель № 52380, опубл. Бюл. № 16, 2010г.
206. Патент України на винахід № 99017, опубл. Бюл. № 13, 2012г.
207. Патент України на корисну модель № 52410, опубл. Бюл. № 16, 2010г.
208. NIST SP 800-22. A Statistical Test Suite for the Validation of Random Number Generators and Pseudo Random Number Generators for Cryptographic Applications. NIST, 2000.
209. ДСТУ ІЕС 60050-161:2003 Словник електротехнічних термінів. Глава 161. Електромагнітна сумісність. Держспоживстандарт України, 2005.-64 с.
210. В.И. Кравченко, Е.А. Болотов, Н.И. Летунова. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. - / Под ред. В.И. Кравченко -М.: Радио и связь, 1987. - 256с.
211. ІЕС 61000-4-25:2001 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-25: Testing and measurement techniques - HEMP immunity test methods for equipment and systems. ІЕС Central Office, Geneva. – 98р.
212. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. // Под общей ред. К.Н. Трофимова Том 3 Радиолокационные устройства и системы / Под ред. А.С. Винницкого - М.: Сов. Радио, 1979. - 528с.
213. Макаренко С. И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 3. Радиоэлектронное подавление систем навигации и радиосвязи. - Системы управления, связи и безопасности №2. 2020. – С. 101 – 175.
214. ІЕС 61000-2-9:1996 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment - Section 9: Description of HEMP environment - Radiated disturbance. Basic EMC publication. -52 p.

215. MIL STD 464C:2010 Electromagnetic environmental effects. Requirements for systems. - 165 p.
216. STANAG 4370 NATO АЕСТР 250:2014 NATO Standard Electrical and Electromagnetic Environmental Conditions. Edition C Version1, December 2014.- 253p.
217. ДСТУ 3681-98 (ГОСТ 30585-98) Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до дії грозових розрядів. Технічні вимоги та методи випробувань. Держстандарт України. Київ.-1999.-28 с.
218. IEC 62305-1:2011 Protection against lightning – Part 1: General principles.-72 p.
219. Розробка системи випробувань типових видів озброєння та військової техніки України за стандартами НАТО з електромагнітної сумісності. Звіт про НДР. НТУ «ХП», 2020.- 397 с. Номер облікової картки 0221U100954
220. STANAG 4370 NATO АЕСТР-500:2016 Electromagnetic environmental effects tests and verification. – 1125 p.
221. EUROCAE ED-14G:2011 Environmental conditions and test procedures for airborne equipment. 2011. – 438 p.
222. Кравченко В.І. Блискавка та літальні апарати /В.І. Кравченко, В.В. Князев // Монографія в трьох томах. Під загальною редакцією проф. В.І. Кравченко. Том 2 Вражаючі дії і дестабілізуючі впливи грозових розрядів. – Харків. Видавець: О.А. Мирошніченко, 2021. – 322 с.
223. Kravchenko V.I. The Production of the Voltage and Current Levels Induced in the Aircraft Side Circuits Struck by the Lightning // Proc. 10-th Intern. Symp. on EMC, 1990 - Part 2 - P.648-653.
224. Kniaziev V.V. Assessment of probability of lightning direct strike into elements of stationary ground launch complex / V.V. Kniaziev, S.I. Melnik // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2018. – № 14 (1290). – С. 76-81. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/36315>.
225. Сахаров К.Ю. Излучатели сверхкоротких электромагнитных импульсов и методы измерений их параметров. М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2006. -159 с.
226. Сухов А.В. Методы и средства измерений параметров сверхкоротких электромагнитных импульсов в пикосекундном диапазоне. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: ФГУП «ВНИИОФИ», 2016.-160 с.
227. Huiskamp T. B-dot and D-dot sensors for (sub) nanosecond high-voltage and high-current pulse measurements / T. Huiskamp, F.J.C.M. Beckers, E.J.M. van Heesch, A.J.M. Pemen // IEEE Sensors Journal 16 (10), 3792 3801.-11p.

228. Шваб А. Измерения на высоком напряжении. Измерительные приборы и способы измерения / Пер. с нем. И.П. Кужекина. М.: Энергоатомиздат. – 1983. – 263 с.
229. Баранов М.И. Коаксиальный дисковый шунт для измерения в сильноточной цепи высоковольтного генератора грозовых разрядов импульсов тока искусственной молнии с интегралом действия до  $15 \cdot 10^6$  дж/ом / М.И. Баранов, В.В. Князев, С.В. Рудаков // Електротехніка і Електромеханіка. 2017. №5 С.45-50. doi: 10.20998/2074-272X.2017.5.07.
230. Донец С.Е., Леденев В.В., Литвиненко В.В. Стержневой шунт для измерения сильных токов микросекундной длительности / С.Е. Донец, В.В. Леденев, В.В. Литвиненко // Вісник НТУ «ХП». Серія: «Техніка та електро-фізика високих напруг». – 2008. – №44. – С. 39-44.
231. Оксінок О.Г., Одарченко Р.С., Даков С.Ю., Бурмак Ю.А., Федюра Т.В. Стандарти та технології мережі 5G і можливості її реалізації. Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Київ: ВІКНУ, 2020. №67. 104-119 с.
232. Національна енергетична компанія «Укренерго». Аналіз законодавства провідних зарубіжних країн та України щодо ефективного використання енергетичних ресурсів – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/1.-Efektyvnevykorystannya-energoresursiv.pdf>. – 2.07.2020 р.
233. Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. Для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42078>.
234. Лагута С.М. Проект "Штучний інтелект, інтернет речей, Smart-технології". [Електронний ресурс]. URL: <https://vseosvita.ua/library/proekt-stucnij-intelekt-internet-recej-smart-tehnologii-446741.html> (дата звернення: 12.11.2021).
235. Пінь А.М. Концепція розумного міста в контексті розвитку інноваційного управління. Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України, 2018. Вип. 4(132). С. 114-118
236. Чичкало-Кондрацька І. Б., Буряк А. А., Кондрацька Д. С. Особливості створення та перспективи розвитку smart cities у країнах світу. Електронний журнал «Ефективна економіка», 2020. №8. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8096>. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.8.9 (дата звернення: 12.11.2021).

237. Бобровнікова К. Ю., Товстуха Е. В. Методи забезпечення енергоефективності та енергозбереження в системі розумного будинку. Комп'ютерні системи та інформаційні технології, 2020. № 1. С. 53-58.
238. Верусь В.С., Кондратюк О.І., Ляшко С.С. Розумний будинок або автоматизована система керування. Студентський вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Рівне: НУВГП, 2019. Вип. 1 (11). С. 119-122.
239. Воронтаж П.В. Активізаційно-компенсаторний смарт-підхід щодо удосконалення організаційно-економічного інструментарію стратегії інноваційного розвитку промислового підприємства та його концептуальна модель. [Електронний ресурс]. Економіка: реалії часу, 2015. №6 (22). С. 206-212. Режим доступу до журн. <https://economics.net.ua/files/archive/2015/No6/206.pdf>.
240. Пархоменко А.В., Туленков А.В., Соколянський О.В., Залюбовський Я.І. Інтелектуальне середовище системи домашньої автоматизації. Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка.», 2020. №1(30). С.101-111.
241. Кузнецов Д.І., Рябчина Л.С. Інформаційна безпека систем інтернету речей. Вісник Криворізького національного університету, 2019. Вип. 49 С. 80-83.
242. Гайдукевич С.В., Семенова Н.П., Леськів Я.А. Особливості Smart технологій на прикладі автоматизації житлового будинку. Таврійський науковий вісник. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2022 Вип. 1. С.12-21.
243. Гайдукевич С.В., Семенова Н.П., Леськів Я.А. Забезпечення ефективності енергоспоживання при використанні сучасних інформаційних технологій. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, 2021. № 4 (487). С. 33-39.
244. Felius, L. C. Retrofitting towards energy-efficient homes in European cold climates: a review / L. C. Felius, F. Dessen, B. D. Hrynyszyn // Energy Efficiency, 2020. Vol. 13, Issue 1. pp. 101-125.
245. Kolotylo, P. V., Kharchuk, O. H. (2020). Tseliulozno-paperova haluz u konteksti innovatsiinoho rozvytku i vyrobnytstva produktsii v Ukraini ta za kordonom [Pulp and paper industry in the context of innovative development and production in Ukraine and abroad]. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Ekonomika i upravlinnia – Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadsky. Series: Economics and management. No 1. T. 31 (70). 29–35. doi.org/10.32838/2523–4803/70-1-5 [in Ukrainian].
246. Ofitsiinyi sait Asotsiatsii «Ukrpapir» [Official website of the Association "Ukrpapir"]. URL : <http://ukrpapir.org/news.php> [in Ukrainian].
247. Mykhailov, V.I., Hlushkova, T.H., & Zelnichenko, O. I. (2018). Netrodovolchi tovary [Non-food products]. Kyiv : Knyha [in Ukrainian].



248. Hlushkova, T. H., Barabash, S. S. (2019, April 6-7). Problemy identyfikatsii paperu ta vyrobiv z noho [Problems of identification of paper and products from it]. *Tovaroznavstvo i torhovelne pidpriemnytstvo: doslidzhennia, innovatsii, osvita : mater. mizhnar. nauk.-prakt. konf. – Commodity science and commercial business : research, innovation, education : materials of the international scientific-practical conference*. Kyiv: KNTEU. 190-192 [in Ukrainian].
249. Semiuk, S. Ye., Holodiuk, H. I., & Hurhula, N. M. (2020). Suchasnyi stan i problemy ukrainskoho rynku tseliulozno-paperovoi produktsii [Current state and problems of the Ukrainian market of pulp and paper products]. *Tovaroznavchyi visnyk – Commodity Bulletin*. No 1(13). 216–228. doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2020-13-18 [in Ukrainian].
250. Deklaratsiinyi patent No 102687 Ukraina. Prystrii dlia aromatyzatsii pakuvalnoho paperu [Declaration patent for utility model No 102687 Ukraine. Device for aromatization of packaging paper]. No u201505247; zivleno 28.05.2015r.; opublikovano 10.11.2015r., Biuletyn № 21.
251. Guilford, J. P. (1954). *Psychometric Methods*. New York, Toronto, London: McGraw-Hill. 597 p.
252. Vlasova Ye.A., Zarubin V.S., Kuvyrkin G.N. (2001) *Priblizhennyie metody matematicheskoy fiziki [Approximate methods of mathematical physics]*. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.É. Bauman, 700 p.
253. Patankar S.V. (1984) *Chislennyie metody resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti [Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics]* / S.V. Patankar.; per. s angl. pod red. V.D. Vilenskogo. Moscow: Energoatomizdat, 150 p.
254. Ferziger J.H. (2002) *Computational Methods for Fluid Dynamics* / J.H. Ferziger, M. Perić. – 3 rev. ed. – Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Tokyo: Springer, 423 p.
255. Shlikhting G. (1974) *Teoriya pogramichnogo sloya [Boundary layer theory]*. Moscow: Science, 712 p.
256. Launder B.E. (1972) *Lectures in Mathematical Models of Turbulence* / B.E. Launder, D.B. Spalding. Academic Press, London, England.
257. Yakhot V., Orszag S.A. (1986) Renormalization Group Analysis of Turbulence. Basic Theory. *Journal of Scientific Computing*, no. 1 (1), pp. 1-51.
258. Shih T.-H. (1995) Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows / Model Development and Validation / T.-H. Shih, W.W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, J. Zhu. *Computers Fluids*, no. 24 (3), pp. 227-238.
259. Hanjalic, K. (1994) Advanced Turbulence Closure Models: A View on the Current Status and Future Prospects, *Int. J. Heat & Fluid Flow*, vol. 15, pp. 178-204.

260. Speziale C.G. (1996) Modeling of Turbulent Transport Equations / C.G. Speziale, T. Gatski, M. Hussaini, J. Lumley // Simulation and Modeling of Turbulent Flows, Oxford University. Press, 159 p.
261. Bardina J.E. (1997) Turbulence Modeling Validation, Testing and Development / J.E. Bardina, P.G. Huang, M. Hussaini, T.J. Coakley. California, NASA reports, 88 p.
262. Brandt M. Industrial lasers: from cad design to rapid laser manufactured product. Australasian Welding J. 2000. Vol. 31. № 48. P. 33–35.
263. Wachsender Weltmarkt für Lasermaschinen. Schweissen und Schneide. 2000. №9. S. 496.
264. Holton C., Overton G., Noguee A., Belforte D. Annual Laser Market Review & Forecast: Can laser markets trump a global slowdown? Lasers & Sources. 2016, Feb. 1. URL: <https://www.laserfocusworld.com/lasers-sources/article/16546938/annual-laser-market-review-forecast-can-laser-markets-trump-a-global-slowdown>.
265. Holton C., Noguee A. Amid crises and challenges, laser markets stay the course. Lasers & Sources. 2021, Feb. 24. URL: <https://www.laserfocusworld.com/lasers-sources/article/14196044/covid19-had-a-major-impact-on-global-laser-markets-yet-revenue-remained-generally-healthy>.
266. Thoss A. Global laser markets in the time of COVID-19. Laser Focus World. 2021, May 20. URL: <https://www.laserfocusworld.com/executive-forum/article/14200786/global-laser-markets-in-the-time-of-covid19>.
267. Mobile laser surface cleaning system // Laser Focus World. 1996. № 11. P. 848.
268. Mobile laser welding machine // Laser Focus World. 2000. № 4. P. 193–194.
269. Exner H., Drechsel J., Klotzer S., Neumann V. Handgeführtes Handgeführtes Fugen: Laser-Bearbeit-ungskopf für mobiles Laserschweissen. Laser-Prax. 1999. № 3. S. 14–15.
270. S. Keitel. Manuelles Laserstrahlschweipcn-Entwicklungs-pcrspcktiven und Stand der Anwendung. Stand Der Hochlicstungsfuegeverfahren- 7 Inter. Aachener Schweiptchnik Kollo-guim, Aachener, Dentschland, 3–4 Mai, 2001. 2001. Bd. 1. S. 145–159.
271. «Laserstrahl «Handschwciissgerat» LHSG-1», Techn.-inf. Halle: Berichte-SLV, 2000.
272. «Laserstrahl «Handschwciissgerat» LHSG-2», Techn.-inf. Halle: Berichte-SLV, 2000.
273. Folrat K. Restaurierung von Werkzeugen und Werkzeugeinrichtungen mittels Laserauftragschweißen. Practiker. 2000. № 9. P. 350–354.
274. Hand Schweißen mit speziellem Werkzeug ander Schwelle Industrieller Nutzung – hand positionierte Laserschweißgeräte. URL: <https://www.slv-halle.de>.

275. Das Potential der Lasertechnik für die Handbearbeitung Beispielder Schweißtechnik Dr.-Ing. Steffen Keitel, Halle (Saale) URL: <https://www.slv-halle.de>.
276. Осадчая А.И., В.А. Кудрявцев. Влияние некоторых факторов на криорезистентность и сохранение жизнеспособности при лиофилизации культур *Bacillus subtilis*. Биотехнология, 2003, №3, С.45-54.
277. Микро- и наноразмерные процессы в технологиях ДИВЭ: Тематический сборник статей/под общей ред. А.А. Долинского; Институт технической теплофизики НАН Украины.-К.: Академперіодика, 2015.-464с.
278. А. с. 1618912 СССР, МКИ F 16D 57/00. Способ регулирования тормозного момента гидротормоза и гидротормоз с регулируемым тормозным моментом / В. В. Чернюк, А. С. Пасичнюк, Р. М. Гнатив (СССР). № 4457805/27; заявл. 11.07.88; опубл. 07.01.91, Бюл. № 1.
279. Чернюк В. В. Гідрогальмо з регулювальним затримним моментом / В. В. Чернюк // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка." Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. – Львів: ДУ "ЛП". – 1995. – № 291. – С. 54-63.
280. Піцишин Б. С. Гідравлічні гальма / Б. С. Піцишин // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. – Львів: ДУ "ЛП". – 2000. – № 404. – С. 3-9.
281. Симоненко А.П. Основные закономерности снижения гидродинамического сопротивления турбулентного течения в растворах мицеллообразующих поверхностно-активных веществ / А.П. Симоненко, Н.А. Дмитренко, П.В. Асланов // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности: материалы I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16-18 мая 2016 г.). – Ростов-на-Дону, 2016. – Т. 1 : Физико-математические, технические науки и экология / под общ. ред. С. В. Беспаловой. – С. 191-194.
282. Особенности турбулентных течений растворов мицеллообразующих поверхностно-активных веществ / И.Л. Повх [и др.] // Механика турбулентных потоков: сборник. – Москва, 1980. – С. 44-69.
283. Симоненко А.П. Турбулентное течение водных растворов мицеллообразующих ПАВ в зазоре между коаксиальными цилиндрами / А.П. Симоненко // Инженерно-физический журнал. – 1980. – Т. XXXVIII, № 2. – С. 231-234.
284. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтин. – Москва : Наука, 1974. – 712 с.
285. Koeltzsch, K., Qi, Y., Brodkey, R. S., & Zakin, J. L. (2003). Drag reduction using surfactants in a rotating cylinder geometry. *Experiments in Fluids*, 34(4), 515–530.

286. Чернюк В.В., Піцишин Б.С. Установка для дослідження структури потоку рідини між неспіввісними статором і ротором // Вісн. Держ. Ун-ту "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація." – Львів, № 304. – 1996. – С. 80 – 84.
287. Піцишин Б.С. Вплив ексцентриситету та водних розчинів метаупону на гідравлічний опір циліндричного ротора / Піцишин Б.С., Орел В.І., Попадюк І.Ю. // In the monograph *Wissenschaft für den modernen Menschen: physik, mathematik, chemie, medizin, biologie, ökologie, landwirtschaft, geologie*. Edited by Babintseva L.Y., Beznosyk Y., Bezruchko N.V., Bugaieva L., Verbytsky S.T. et al. - Publishing house: ScientificWorld-NetAkhatAV, Karlsruhe, Germany, 2021. S. 9-16. ISBN 978-3-949059-13-1. DOI: 10.30890/2709-2313.2021-04-05, (The monograph has 205 pages).
288. Popadyuk I.Y., Orel V.I., Pitsyshyn B.S. Influence of the gap width and concentration of metaupon aqueous solutions on the hydraulic resistance of a cylindrical rotor // *Intellektuelles Kapital - die Grundlage für innovative Entwicklung: Technik, Informatik, Sicherheit, Verkehr, Physik und Mathematik, Biologie und Ökologie, Landwirtschaft*. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 6. Teil 4. 2021. – 113–120, 176–177.
289. Pitsyshyn B.S., Orel V.I., Popadyuk I.Y. Influence of eccentricity and aqueous solutions of metaupon on hydraulic resistance of a cylindrical rotor // *Wissenschaft für den modernen Menschen: physik, mathematik, chemie, medizin, biologie, ökologie, landwirtschaft, geologie*. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 4. Teil 5. 2021. – S.9-16, 181-182.
290. Піцишин Б.С. Застосування мішалки з циліндричним ротором для приготування полімерних розчинів з метою використання при гасінні пожеж / Б.С. Піцишин, В.І. Орел // Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехн.". Теорія і практика будівництва. – 2008 – № 627. – С.172-178.
291. Попадюк І. Ю., Піцишин Б. С., Орел В. І. Збільшення тертя у потоці Тейлора-Куетта під час використання натрій карбоксиметилцелюлози. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 10. С. 96–100.
292. Піцишин Б.С. Підвищення стійкості пін за допомогою натрійкарбоксиметилцеллюлози / Б.С. Піцишин, В.І. Орел // Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехн.". Теорія і практика будівництва. – 2009 – № 655. – С.219-223.
293. Піцишин Б.С. Застосування мішалки з циліндричним ротором для приготування полімерних розчинів з метою використання при гасінні пожеж / Б.С. Піцишин, В.І. Орел // Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехн.". Теорія і практика будівництва. – 2008 – № 627. – С.172-178.

294. А. с. 1618912 СССР, МКИ F 16D 57/00. Способ регулирования тормозного момента гидротормоза и гидротормоз с регулируемым тормозным моментом / В. В. Чернюк, А. С. Пасичнюк, Р. М. Гнатив (СССР). № 4457805/27; заявл. 11.07.88; опубл. 07.01.91, Бюл. № 1.
295. Чернюк В. В. Гідрогальмо з регулювальним затримним моментом / В. В. Чернюк // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка." Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. – Львів: ДУ "ЛП". – 1995. – № 291. – С. 54-63.
296. Піцишин Б. С. Гiдравлiчнi гальма / Б. С. Піцишин // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. – Львів: ДУ "ЛП". – 2000. – № 404. – С. 3-9.
297. Jones W. M. The effect of weak elasticity on Couette flow between rotating cylinders; (1) spiral flow; (2) eccentric cylinders / Jones W. M. // J. Non-Newton. Fluid Mech. – 1988. – Vol. 28, № 2. – P. 255-263.
298. Drag reduction using surfactants in a rotating cylinder geometry / [Koeltzsch K., Qi Y., Brodkey R. S., Zakin J. L.] // Exp. Fluids. – 2003. – Vol. 34, № 4. – P. 515-530.
299. Davey, A. (1962). The growth of Taylor vortices in flow between rotating cylinders. *Journal of Fluid Mechanics*, 14(03), 336. <http://doi.org/10.1017/S0022112062001287>
300. Cole, J. A. (1976). Taylor-vortex instability and annulus-length effects. *Journal of Fluid Mechanics*, 75(01), 1. <http://doi.org/10.1017/S0022112076000098>
301. Donnelly, R. J., & Simon, N. J. (1960). An empirical torque relation for supercritical flow between rotating cylinders. *Journal of Fluid Mechanics*, 7, 401–418. <http://doi.org/10.1017/S0022112060000177>
302. Wendt, F. (1933). Turbulente Strömungen zwischen zwei rotierenden konaxialen Zylindern. *Ingenieur-Archiv*, 4(6), 577–595. <http://doi.org/10.1007/BF02084936>
303. Hoyt, J. W., & Sellin, R. H. J. (1988). Drag reduction by centrally-injected polymer "threads." *Rheologica Acta*, 27(5), 518–522. <http://doi.org/10.1007/BF01329351>
304. Zakin, J. L., Myska, J. and Chara, (1996). Z. New limiting drag reduction and velocity profile asymptotes for nonpolymeric additives systems, *AIChE Journal* vol. 42(12), p.3544.
305. Greidanus, A. J., Delfos, R., & Westerweel, J. (2011). Drag reduction by surface treatment in turbulent Taylor-Couette flow. *Journal of Physics: Conference Series*, 318(8), 082016. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/318/8/082016>

306. Srinivasan, S., Kleingartner, J. A., Gilbert, J. B., Cohen, R. E., Milne, A. J. B., & McKinley, G. H. (2015). Sustainable Drag Reduction in Turbulent Taylor-Couette Flows by Depositing Sprayable Superhydrophobic Surfaces. *Physical Review Letters*, 114(1), 014501. <http://doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.014501>
307. Sugiyama, K., Calzavarini, E., & Lohse, D. (2008). Microbubbly drag reduction in Taylor– Couette flow in the wavy vortex regime. *Journal of Fluid Mechanics*, 608(2008). <http://doi.org/10.1017/S0022112008001183>
308. Ashrafi, N. (2011). Stability analysis of shear-thinning flow between rotating cylinders. *Applied Mathematical Modelling*, 35(9), 4407–4423. <http://doi.org/10.1016/j.apm.2011.03.010>
309. Чернюк В.В., Піцишин Б.С. Установка для дослідження структури потоку рідини між неспіввісними статором і ротором // Вісн. Держ. Ун-ту "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація." – Львів, № 304. – 1996. – С. 80 – 84.
310. Єфименко О. В., Мусаєв З.Р. Дослідження транспортного режиму короткобазового навантажувача при переїзді через одиночну перешкоду // Молода наука роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: тези доповідей міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, м. Краматорськ, 09 – 10 квітня 2019 р., Краматорськ, 2019. С. 88 – 92.
311. Назаров Л. В., Разоренов Л. В. Динамика поворота малогабаритного колесного погрузчика // Вестник ХНТУСХ им. П. Василенка. Зб. Наук. Праць / Харьков: 2009 Вып. 81. С. 62 – 64.
312. Беккер М. Г. Введение в теорию систем «местность-машина» // Пер. с англ.; под. ред. Гуськова В. В. – М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
313. Мусаєв З.Р. Підвищення ефективності роботи короткобазових колісних навантажувачів у транспортному режимі: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.05.05 – Піднімально-транспортні машини / ХНАДУ. Харків, 2020 р. 177 с.
314. Назаров Л. В., Разоренов Л. В. Динамическая устойчивость короткобазового погрузчика с бортовой системой поворота // Науч. Весн. / Харків: ХДТУБА 2009. Вып. 55. С. 217 – 224.
315. Малкин М. А. Метод повышения профильной проходимости полноприводного автомобиля за счет применения регулируемого силового привода колес: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.05.03 / МАМИ. Москва, 2015 г. 227 с.
316. Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S. «Theory of Plates and Shells». Second Edition. New York etc.: McGraw-Hill Book Company INC, 1959. - 636 p.
317. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек Л.: Госиздат Судостроительной литературы, 1951- 344 с.

318. Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E. «Investigation of the conical type shell structure dynamics under internal axisymmetric pulse loading» – 2021. – Issue. 107. – P. –247-256.
319. Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E., Snizhko N.A. «Impact of engineering/technology factors and nonstationary loads on the stress - strain state of a three-layer cylindrical shell». Strength of Materials and Theory of Structures. – 2021. – Issue. 107. – P. –282-288.
320. Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E., Ruvyn O.G. «Impact of pulse dynamic loading direction and surface curvature on the stress-strain state of a three-layered spherical shell». Strength of Materials and Theory of Structures. – 2022. – Issue. 108. – P. –171-177.
321. Луговой П.З., Гайдайчук В.В., Скосаренко Ю.В., Котенко К.Е. «Напружено-деформований стан тришарових циліндричних оболонок з армованим легким заповнювачем при нестационарному навантаженні» //Прикладна механіка– 2021, 57, № 4 – С.23–34.
322. Луговой П.З., Гайдайчук В.В., Котенко К.Е., Орленко С.П. «Динаміка тришарових конічних оболонок з дискретно неоднорідним заповнювачем при нестационарних навантаженнях/ " //Прикладна механіка – 2022. Vol.58, №4– С. 45-58.
323. Сегерлинд Л. «Применение метода конечных элементов». М.: Мир, 1979.- 392 с.
324. Рычков С. П. «Моделирование конструкций в среде Femap with Nastran». / С. П. Рычков //– М. ДМК Пресс, 2016. – 784 с.
325. Васильченко В. А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: Справочник / В. А. Васильченко – М.: Машиностроение, 1983. – 301 с.
326. Гидропривод. Основы и компоненты. Учебный курс по гидравлике, том № 1, заказной номер – RRS, издание 3.1. 2003 г. Издание 2 (на русском языке), Издатель : Бош Рексрот АГ Сервис Автоматизация Дидактика 64711, г. Эрбах, Германия. – 322 с.
327. Пимонов И.Г. Энергосбережение в гидроприводах мобильных машин температурным режимом рабочей жидкости. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки - 2014. Випуск 4. – с. 308-312.
328. Аврунін Г.А., Пімонов І.Г., Мороз І.І. Регулирование температуры рабочей жидкости в объемных гидроприводах мобильных машин. Вінницький національний аграрний університет, Асоціація спеціалістів промислової гідравліки і пневматики. Промислова гідравліка і пневматика, 2016. №1

329. Я. Лур'є, В. Б. Самородов, Г.А. Аврунін, Є.Н. Цента // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати: – Х.: – НТУ «ХПІ». – 2019. – № 2 (2019). – С. 68-76.
330. Самородов В. Б. Основные направления совершенствования объемных гидроприводов навесного оборудования сельскохозяйственных тракторов. / В. Б. Самородов, Г. А. Аврунин, И. И. Мороз, Е. С. Пелипенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Автомобіле- та тракторобудування: Зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 49 (1325). – 2018. – С. 21–31.
331. Orbital Motors Type OMP, OMR and OMH. – Danfoss. – Technical Information. – ENGINEERING TOMORROW. – powersolutions.danfoss.com.– 2 | Danfoss | January 2018. – 520L0262 | BC00000084en- US0402. – 116 p.
332. Reissner, E. On a Variational Theorem in Elasticity // Journal of Mathematics and Physics. 1950. Vol. 29, Issue 1-4. P. 90–95. doi: <https://doi.org/10.1002/sapm195029190>
333. Static and free vibration analysis of cross-ply laminated plates using the Reissner-mixed variational theorem and the cell based smoothed finite element method / Pramod, A.L.N., Natarajan, S., Ferreira A.J.M., Carrera E., Cinefra M. // European Journal of Mechanics - A/Solids. 2017. Vol. 62. P. 14–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2016.10.006>
334. Faghidian S.A. Reissner stationary variational principle for nonlocal strain gradient theory of elasticity // European Journal of Mechanics - A/Solids. 2018. Vol. 70. P. 115–126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2018.02.009>
335. Сало, В.А. О двусторонней оценке точности приближенных решений задач теории оболочек, полученных методом Ритца для неэкстремального функционала Рейсснера // Доповіді НАН України. 2003. № 1. С. 53–57.
336. Сало, В.А. Доказательство достаточного признака сходимости метода Ритца для смешанного вариационного принципа Рейсснера // Вестник Харьков. гос. политех. ун-та. 2000. Вып. 95. С. 70–75.
337. Сало В. А. Краевые задачи статики оболочек с отверстиями. Харьков: НТУ «ХПІ», 2003. 216 с.
338. Сало В.А. О концентрации напряжений около отверстия в упругой сферической оболочке // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. 2004. Вып. 2. С. 66–72.
339. Сало, В.А., Нечипоренко, В.М. Дослідження міцності пружної циліндричної конструкції під дією локального навантаження // Збірник наукових праць НА НГУ. – Харків: 2017. – Вип. 2. – С. 76–82.



340. Salo, V.A., Rakivnenko, V.P., Nechiporenko, V.M., Kirichenko, A.M., Horielyshev, S.S., Onopreichuk, D.V., Stefanov, V.O. Calculation of stress concentrations in orthotropic cylindrical shells with holes on the basis of a variational method // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 3, Issue 7 (99). P. 11–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169631>
341. Salo, V.A., Nechiporenko, V.M., Rakivnenko, V.P., Horielyshev, S.A., Gleizer, N.V., Kebko, A.V. Calculation of the spherical elements of non-uniform thickness for structures with holes based on the variational RVR-method // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Issue 6/7(108). P. 36–42. doi: [10.15587/1729-4061.2020.217091](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217091)
342. Векуа, И.Н. Теория тонких пологих оболочек переменной толщины. Т. 30. Тбилиси, 1965. С. 3–103.
343. Рвачев, В.Л. Теория  $\phi$ -функций и некоторые ее приложения [Текст]: Монография / В.Л. Рвачев. – Киев: Наукова думка, 1982. – 566 с.
344. Awrejcewicz J., Kurpa L., Shmatko T. Investigating geometrically nonlinear vibrations of laminated shallow shells with layers of variable thickness via the R-functions theory // *Composite Structures*. 2015. Vol. 125. P. 575–585. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.02.054>
345. Нечипоренко, В.М., Сало, В.А., Літовченко, П.І., Ковбаска, Б.В., Верхорубов, Д.О. Використання теорії  $\phi$ -функцій для створення раціональних посадок з натягом // *Збірник наукових праць НА НГУ*. – Харків, 2016. – Вип. 2. – С. 72–76.
346. Сало, В.А., Горбунов, А.П., Нечипоренко, В.М. Дослідження вірогідної зони придатних посадок з натягом при автоматизованому проектуванні // *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. № 2 (80) Т. 1 – Житомир: 2017. – С. 73–77.
347. Літовченко П.І., Нечипоренко В.М., Сало В.А., Іванова Л.П. Новий науково обґрунтований метод автоматизованого проектування посадок з натягом // *Збірник наукових праць Академії ВВ МВС України*. – Харків: 2013. - Вип. 1(21). – С. 74–79.
348. Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S. *Theory of Plates and Shells*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 580 p.
349. Шубенко-Шубин Л.А. и др. Прочность паровых турбин: моногр. / Л. А. Шубенко-Шубин. – М.: Машиностроение, 1973. – 456 с.
350. Хворост, В. А. Изгиб бесконечной полосы с периодически расположенными отверстиями // *Динамика и прочность машин. Сб. науч. тр. ХПИ*. – Х.: ХПИ, 1973. – Вып. 18. – С. 123–130.

351. Сало, В.А., Корниенко, А.В. Расчет напряженного состояния упругой оболочки с периодической системой круглых отверстий // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сб. науч. тр. НАКУ "ХАИ". - Вып. 1 (65). - Х., 2011. - С. 76–82.
352. Пелех Б. Л. Теория оболочек с конечной сдвиговой жесткостью: моногр. / Б. Л. Пелех. - К.: Наукова думка, 1973. - 246 с.
353. Warnats, J., Maas, U., Dibble, R.W. (2006). Combustion. Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulations, Experiments, Pollutant Formation. Berlin. Springer, 378 p.
354. Van Oijen, J.A., Donini, A., Bastiaans, R.J.M., Ten Thijs Boonkkamp, J.H.M., de Goey, L.P.H. (2016) State-of-the-art in premixed combustion modeling using flamelet generated manifolds. Progress in Energy and Combustion Science, 57, 30-74. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.07.001>
355. Tran, A., Aguirre, A., Durand, H., Crose, M., Christofides, P. D. (2017) CFD modeling of an industrial-scale steam methane reforming furnace. Chemical Engineering Science, 171, 576-598. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.06.00>
356. Gianetti G., Sforza L., Lucchini T., D'Errico G., Soltic P., Rojewski J., Hardy G. (2019) CFD modeling of natural gas engine combustion with a flame area evolution model. AIP Conference Proceedings 2191, 020087. <https://doi.org/10.1063/1.5138820>
357. Adamczyk, W.P., Parra-Alvarez, B.I., Smith, J., Sean T., Harris, D., Thornockm J.N., Zhou, M., Smith, P.J., Żmudac, R. (2018) Application of LES-CFD for predicting pulverized-coal working conditions after installation of NOx control system. Energy, 160, 693-709. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.031>
358. Perpignan, A.A.V., Talboom, M. G., Levy Y., and Gangoli Rao, A. (2018) Emission Modeling of an Interturbine Burner Based on Flameless Combustion. Energy Fuels, 32, 822–838. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b02473>
359. Perpignan, A.A.V. and Gangoli Rao, A. (2019) Effects of chemical reaction mechanism and NOx formation pathways on an inter-turbine burner. The Aeronautical Journal, 123, 1898-1918. <https://doi.org/10.1017/aer.2019.12>
360. Ying Wu., Daoyin Liu., Lunbo Duan., Jiliang Ma., Jie Xiong., Xiaoping Chen.(2018) Three-dimensional CFD simulation of oxy-fuel combustion in a circulating fluidized bed with warm flue gas recycle. Fuel, 216, 596-611. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.042>
361. Абдулін, М.З., Баранюк, О.В., Сірий, О.А. (2016). Дослідження гідродинаміки потоку повітря в струменево-нішовій системі спалювання палива. Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування», 9/1181, 94-100. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2016.09.14>

362. Фиалко, Н.М., Прокопов, В.Г., Алешко, С.А., Абдулин, М.З., Рокитько, К.В., Малецкая, О.Е., Милко, Е.И., Ольховская, Н.Н., Реграги, А., Евтушенко, А.А. (2018). Компьютерное моделирование течения в микрофакельных горелочных устройствах с асимметричной подачей топлива. *Науковий вісник НЛТУ України*, 8(28), 117-121. <https://doi.org/10.15421/40280823>
363. Фіалко, Н.М., Прокопов, В.Г., Шеренковський, Ю.В., Альошко, С.О., Меранова, Н.О., Рокитько, К.В. (2020). Структура течії в пальникових пристроях з асиметричним паливорозподіленням для регулюючих потоків та ізотермічних умов. *Теплофізика та теплоенергетика*, 1(42), 19-26. <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2020.2>
364. Fialko, N.M., Aleshko, S/A., Rokitko, K.V., Maletskaya, O.E., Milko, E.I., Kutnyak, O.N., Olkhovskaya, N.N., Regragui, A., Donchak, M.I., Evtushenko, A.A. (2018). Regularities of Mixture Formation in the Burners of the Stabilizer Type with One-Side Fuel Supply. *Technological Systems*, 3, 37-43. <http://technological-systems.com/index.php/Home/article/view/146>
365. Фіалко, Н.М., Прокопов, В.Г., Шеренковський, Ю.В., Альошко, С.О., Меранова, Н.О., Рокитько, К.В. (2019). CFD моделювання температурних режимів зони горіння пальників стабілізаторного типу з асиметричною подачею палива. *Теплофізика та теплоенергетика*, 4(41), 13-17. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.2>
366. Burokova, A. V., & Rakhmanov, YU. A. (2014). К вопросу рекуперации теплоты газов печей термобработки металлических изделий. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment»*, (1), 17. <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-rekuperatsii-teploty-gazov-pechey-termoobrabotki-metallicheskih-izdeliy>
367. Yerofyeyeva, A. A. (2020). Pidvyshchennya efektyvnosti spozhyvannya pryrodnoho hazu promyslovymy kamernymy pechamy. «Stalyy rozvytok: zakhyst navkolyshn'oho seredovyshcha. Enerhooshchadnist'. Zbalansovane pryrodokorystuvannya»: zbirnyk materialiv 6-ho mizhnarodnoho konhresu, L'viv: Zakhidno-Ukrayins'kyy Konsal'tynh Tsent (ZUKTS), 166 <https://science.lpnu.ua/uk/ekokongres-2022/poperedni-zbirnyky-tez>
368. Ganzha, A., Zaiets, O., & Koshelnik, A. (2017). Analysis of efficiency and reliability of blast–furnace process waste heat recovery systems. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(1(33)), 49–54. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.92912>.
369. Fialko, N., Navrodskaia, R., Sherenkovsky, Ju., Stepanova, A., Sarioglo, A. (2016). Utilizatsiya teploty otkhodyashchikh gazov steklovarenykh pechey s ispol'zovaniyem membrannykh trub. K: «Sophia-A». ISBN 978-966-02-7982-7

370. Fialko, N. M., Stepanova, A. I., & Navrodska, R. A. (2016). Effektivnost' teploutilizatorov steklovarenykh pechey v usloviyakh zapylennosti poverkhnostey nagreva. *Yenergetika i avtomatika*, (3), 28-35. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/8323/7875>
371. Fialko, N., Prokopov, V., Navrodska, R., Shevchuk, S., & Stepanova, A. (2022). Results of experimental studies of the heat engineering characteristics of industrial furnace water-heating heat recovery units. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 44(1), 84-91. <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2022.10>
372. Fialko, N. M., Prokopov, V. H., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., & Presich, G. O. (2021). Some features of the heat recovery technologies application for gas-fired glass furnaces. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(4), 109–113. <https://doi.org/10.36930/40310418>
373. Koshelnik, A. V. (1998). Opredeleniye koeffitsiyentov teplootdachi v kanalakh nasadok regenerativnykh pechey. *Vestnik KHGPU*, (13), 45–48
374. Kuznetsov N. V., Mitor V. V., Dubovsky I. E. (2011). Thermal calculation of boiler units. Normative method. Moscow, Ekolot.
375. Fialko, N. M., Prokopov, V. H., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., & Sliusar, A. F. (2021). Research of the composition of exhaust gases of glass-melting furnaces. *International Scientific Journal "Internauka"*. (6). <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-6-7297>
376. Kalinin, E. M. (1997). Uovershenstvovaniye pereklyucheniy regenerativnogo teploutilizatora s nepodvizhnoy nasadkoj. *Promyshlennaya energetika*. (2), 21
377. Розвиток і удосконалення діагностичного забезпечення енергоблоків АЕС / Г. І. Канюк, Т. М. Фурсова, А. Ю. Мезеря та ін. – Харків. Видавець: О. А. Мірошніченко, 2022. – 132 с.
378. Straub, J. A modern Blackboard Architecture implementation with external command execution capability. *Software Impacts*, 2022, vol. 11. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.simpa.2021.100183>
379. Сахаров А.М. Тепловые испытания паровых турбин / А.М. Сахаров // Москва - Энергоиздат. - 1990. - С.8.
380. IEC 953-2. Rules for steam turbine thermal acceptance tests. Part 2: Method B - Wide range of accuracy for various types and sizes of turbines./ International standard. // First edition. - 1990. - P. 125.
381. DIN 1943. Thermal acceptance tests of steam turbines. / Standard by Deutsches Institut Fur Normung E.V. - 1975. - P. 52.
382. ASME PTC 6-2004. Steam Turbines. Performance Test Codes. / An American National Standard. // The American Society of Mechanical Engineers. - October. - 2005. - P. 67.

## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

383. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата К-300-240 ХТГЗ второй модификации. / СПО ОРГРЭС. // Москва. - 1976. - С 13.
384. Рябоконт Г.О. Аналіз методів приведення результатів теплових випробувань турбіни К-325-23,5 до номінальних умов / Г.О. Рябоконт, Й.С. Мисак // Вісник інженерної академії. - 2016. - №2. - С.140.
385. А.А. Палагин. Имитационный эксперимент на математических моделях турбоустановок. / Палагин А.А. Ефимов А.В. // Наукова думка. - Киев. - 1986. - С. 6.
386. I. Prisecaru. Saturated steam turbine operation modeling with application at NPP Cernavoda / I. Prisecaru, D. Dupleac // U. P. B. Sci. Bull. - Series C. - Volume 68. - №3. - 2006. - P. 3-14.
387. C. Maffezzoni. Issues in modeling and simulation of power plants / C. Maffezzoni // IFAC Proceeding Volumes. - Volume 25. - Issue 1. - March 1992. - P. 15-23.
388. Клямкин С. Л. Тепловые испытания паротурбинных установок электростанций. / С. Л. Клямкин // Госэнергоиздат. - Ленинград. - 1961. - С. 367.
389. IAPWS R7-97. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam /The International Association for the Properties of Water and Steam // Lucerne, Switzerland. - August 2007. - P. 8.
390. Рябоконт Г.О. Порівняльні дослідження розрахункових техніко-економічних показників турбіни К-325-23,5 з результатами теплових випробувань. / Г.О. Рябоконт, Й.С. Мисак // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. - Харків: НТУ «ХП», 2016 - №8 (1180). С. 72-80.
391. МУ 34-70-093-84. Методические указания по тепловым испытаниям паровых турбин. / Союзтехэнерго. // Москва. - 1986. - С. 80.
392. Рябоконт Г.О. Побудова поправочних кривих на відхилення параметрів пари та теплової схеми турбоустановки від номінальних за допомогою математичної моделі / Г.О. Рябоконт, Й.С. Мисак // Вісник інженерної академії, - 2016. - №3. - С. 261.
393. В.О. Фединець, Я.П. Юсик, І.С. Васильківський. Аналіз похибок вимірювання температури контактними термометроретворювачами //Матеріали VI Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами», 20 листопада 2019 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 20.11.2019 р.- С.278. Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii> ISBN 978-966-612-234-9.
394. Вимірювання температури: Теорія та практика / Луцик Я.Т., Гук О.П., Лах О.І., Стадник Б.І. – Львів: ”Бескид Біт”, 2006. – 560 с.

395. Оптимізація теплової підсистеми термоперетворювачів для вимірювання температури газових потоків /Василь Фединець, Ігор Васильківський // Scientific foundations in research in Engineering: collective monograph /– International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. p. 257-269.
396. Sahin A. Z. (2014) Importance of Exergy Analysis in Industrial Processes. URL: <https://www.researchgate.net/publication/228988818> .
397. Hajjaji N., Pons M.-N., Houas A., Renaudin V. (2012) Exergy analysis: An efficient tool for understanding and improving hydrogen production via the steam methane reforming process. *Energy Policy*. V. 42. P. 392-399. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.003> .
398. Cziesla F., Tsatsaronis G., Gao Z. (2006) Avoidable thermodynamic inefficiencies and costs in an externally fired combined cycle power plant // *Energy*. V. 31, Issues 10–11. P. 1472-1489. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.001>
399. Yuan Yuan Jian, Shao Xiang Zhou. (2010). Exergy Analysis of Boiler Based on the Temperature Gradient. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. Paper # 11258018. P. 4. <http://dx.doi.org/10.1109/APPEEC.2010.5449523>
400. Tsatsaronis G., Morosuk T. (2012). Advanced thermodynamic (exergetic) analysis. *Journal of Physics: Conference Series*. V. 395. 012160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.001>
401. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. (2018). Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6/8 (96). 43-48. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.147526> .
402. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Presich G. (2019). Localization of exergy losses in the air heater of the heat-recovery system under different boiler operating modes. "International scientific journal "Internauka". 12 (74). P.30-34.
403. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Novakovskiy M. (2019). Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods. *International scientific journal "Internauka"*. 15 (1). C.61–63.
404. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N. (2020). Arget functions of optimization of heat recovery systems. *International scientific journal "Internauka"*. 1/3 (83). 23-27.
405. Stepanova, A. (2016). Analiz rabotosposobnosti ustanovki s kombinirovannoy teploutilizatsionnoy sistemoy dlia podogreva vody i dutevogo vozdukha kotloagregata [Analysis of the application combined heat recovery systems for water heating and blast air of the boiler unit]. *Industrial Heat Engineering*, 38(4), 38-46. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06> .

406. Степанова А.И., (2016). Оптимизация элементов теплоутилизационных систем энергетических установок. Энергетика і автоматика. 2. P. 128–138.
407. Степанова А.И. (2016). Анализ эффективности и оптимизация комбинированной теплоутилизационной системы котельной установки Энергетика і автоматика. 1. С.119–128.
408. Фиалко Н.М., Степанова А.И., Навродская Р.А., Шевчук С.И. (2019). Оцінка ефективності повітрянагрівача теплоутилізаційної системи на основі методів ексергетичного аналізу. Энергетика та автоматика. 2, С.5–15. Електронне видання. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya> 2019.02.005.
409. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S. (2021). Complex methods for analysis of efficiency and optimization of heat-recovery system. Scientific and innovation. 2021.17(4). P.11-18. <http://dx.doi.org/10.15407/scine17.04.011> .
410. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Shevchuk S. (2021). Comparative analysis of exergetic efficiency of methods of protection of gas exhaust tracks of boiler installations Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3/8 (111).2021. P.42-49. <http://dx.doi.org/10.15587/1729.4061.2021/234026> .
411. Cziesla F., Tsatsaronis G., Gao Z. (2006) Avoidable thermodynamic inefficiencies and costs in an externally fired combined cycle power plant. Energy. V. 31, Issues 10–11. P. 1472-1489. [doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.001](http://doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.001)
412. Mohammad Ameri ,Pouria Ahmadi, Armita Hamidi. (2008). Energy, exergy and exergoeconomic analysis of a steam power plant: A case study. International Journal of Energy Research. V.33. Issue 5. P.499-512. <https://doi.org/10.1002/er.1495>.
413. Hajjaji N., Pons M.-N., Houas A., Renaudin V. (2012) Exergy analysis: An efficient tool for understanding and improving hydrogen production via the steam methane reforming process. Energy Policy. V. 42. P.392-399. [doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.003](http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.003).
414. Tsatsaronis G., Morosuk T. (2012). Advanced thermodynamic (exergetic) analysis. Journal of Physics: Conference Series. V. 395. 012160. [doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.001](http://doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.001)
415. Terzi R., Tükenmez İ., Kurt E. (2016). Energy and exergy analyses of a VVER type nuclear power plant Energy and Exergy Analyses of a VVER Nuclear Power Plant. International Journal of Hydrogen Energy. (41). P.1-12. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74433>.
416. Naeimi, M.Bidi, Ahmadi M., Kumar R., Sadeghzadeh M., Nazari M. (2019). Design and exergy analysis of waste heat recovery system and gas engine for power generation in Tehran cement factory. Thermal Science and Engineering Progress. V 9. P. 299-307.

417. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. (2018). Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6/8 (96). P.43-48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.147526> .
418. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Presich G. (2019). Localization of exergy losses in the air heater of the heat-recovery system under different boiler operating modes. *International scientific journal "Internauka"*. 12 (74). P.30-34.
419. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Novakovsky M. (2019). Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods. *International scientific journal "Internauka"*. 15 (1). P.61–63.
420. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N. (2020). Arget functions of optimization of heat recovery systems. *International scientific journal "Internauka"*. 3 (83). T. 1. P.23-27.
421. Stepanova, A. (2016). Analysis of the application combined heat recovery systems for water heating and blast air of the boiler unit. *Industrial Heat Engineering*, 38(4), P.38-46. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06> .
422. Степанова А.И., (2016). Оптимизация элементов теплоутилизационных систем энергетических установок. *Энергетика і автоматика*. Вип 2. P. 128–138.
423. Степанова А.И. (2016). Анализ эффективности и оптимизация комбинированной теплоутилизационной системы котельной установки. *Энергетика і автоматика*. Вип. 1. С.119–128.
424. Фиалко Н.М., Степанова А.И., Навродская Р.А., Шевчук С.И. (2019). Оцінка ефективності повітрянагрівача теплоутилізаційної системи на основі методів ексергетичного аналізу. *Енергетика та автоматика*. Вип. 2, С.5–15. Електронне видання. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya> 2019.02.005
425. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S. (2021). Complex methods for analysis of efficiency and optimization of heat-recovery system. *Scientific and innovation*. 17(4). P.11-18. <http://dx.doi.org/10.15407/scine17.04.011>
426. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Shevchuk S. (2021). Comparative analysis of exergetic efficiency of methods of protection of gas exhaust tracks of boiler installations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3/8 (111). P.42-49. <http://dx.doi.org/1015587/1729.4061.2021/234026>.
427. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Presich G., Gnedash G. (2019). The use of thermal methods to protect the exhaust-channels of boilers equipped with heat-recovery units. *International scientific journal "Internauka"*. № 11(73). Vol. 2. P.14-16.



## IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING

428. Фіалко, Н. М., Навродська, Р. О., Шевчук, С. І., Пресіч, Г. О., Гнедаш, Г. О. (2017). Теплові методи захисту газовідвідних трактів котельних установок під час застосування теплоутилізаційних технологій. Науковий вісник НЛТУ України, 27(6). С. 125-130. <https://doi.org/10.15421/40270625>.

429. Фиалко Н. М., Навродская Р. А., Шевчук С. И., Степанова А. И., Пресич Г. А., Гнедаш Г. А. (2018). Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок Киев: Типография «Про формат». 248 с.