



# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

Collective monograph

ISBN 979-8-88992-703-7

DOI 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2

BOSTON(USA)-2023

ISBN – 979-8-88992-703-7

DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2

*Technical and agricultural  
sciences in modern realities:  
problems, prospects and solutions*

*Collective monograph*

*Boston 2023*

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – 979-8-88992-703-7

DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2

Authors – Hladyshev D., Brodskyi M., Lisnykh L., Kryvoruchko N., Lemeshev M., Bereziuk O., Cherepakha D., Kovalskiy V., Mysak I. Mysak P., Vozniuk L., Horbatiuk K., Sarvadi O., Maximilian H., Hetman A., Арабаджи В., Василенко О., Фомін В.М., Фоміна І.П., Чвирова О., Василенко О., Танірвердієв А., Мінченков Р., Стащенко М., Дорогань Н., Черняк Л., Щербак О.В., Куценко С.А., Кричковська Л.В., Близнюк О.М., Грицаєнко Ю.А., Kozachok L., Голубничий Д.Ю., Коломійцев О.В., Сальник О.В., Хабоша С.М., Третяк В.Ф., Гурський Т.Г., Шишацький А.В., Стасюк Т.О., Кузьменко О.М., Рибальченко А.О., Симбірський Г., Федотов К. Майборода Р., Lopuszniak V., Hrytsuliak H., Sorokina S., Kolesnyk V., Polupan V., Nosulia O., Chernozhuk O., Zosimovych N., Марков В.Т., Шевченко І.В., Мурасов Р.К., Романюк В.П., Мещеряков І.С., Мацько П.І., Капля І.О., Ободович О., Сидоренко В., Булій Ю., Степанова О. Denysiuk O., Yahlinskyi V., Hutyria S., Siforov A., Котенко К.Е., Макаров V., Pegov M., Karlin M., Bilan T., Рубель А., Кураєва А., Рубель М. Грабовська О., Деменюк О.

REVIEWER

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

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

Published by Primedia eLaunch

<https://primediaelaunch.com/>

Text Copyright © 2023 by the International Science Group(isg-konf.com) and authors.

Illustrations © 2023 by the International Science Group and authors.

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

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

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

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:

**Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions:** collective monograph / Hladyshev D., Brodskyi M., Lisnykh L. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2023. 461 p. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2

TABLE OF CONTENTS

1.	<b>ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION</b>	
1.1	Hladyshev D. <sup>1</sup> , Brodskyi M. <sup>1</sup> , Lisnykh L. <sup>1</sup> <b>RECONSTRUCTION OF BUILT-IN BOILER ROOM</b> <sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University	10
1.2	Kryvoruchko N. <sup>1</sup> <b>ІННОВАЦІЙНІ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА</b> <sup>1</sup> O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv	19
1.2.1	<b>ПИТАННЯ ЕСТЕТИКИ В ЕКОЛОГІЧНІЙ (ЕКО-СТАЛІЙ) АРХІТЕКТУРІ</b>	22
1.2.2	<b>СТАЛІЙ РОЗВИТОК І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ</b>	32
1.2.3	<b>СТАЛІЙ РОЗВИТОК ЯК ВЗАЄМОДІЯ СИСТЕМ «ПРИРОДА- ЛЮДИНА-АРХІТЕКТУРНЕ СЕРЕДОВИЩЕ» І «ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ-ЛЮДИНА- АРХІТЕКТУРНЕ СЕРЕДОВИЩЕ»</b>	41
1.3	Lemeshev M. <sup>1</sup> , Bereziuk O. <sup>2</sup> , Cherepakha D. <sup>1</sup> , Kovalskiy V. <sup>1</sup> <b>COMPLEX BINDER BASED ON INDUSTRIAL MAN-MADE WASTE</b> <sup>1</sup> Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University <sup>2</sup> Department Security of Life and Pedagogic of Security, Vinnytsia National Technical University	51
1.4	Mysak I. <sup>1</sup> <b>BIM-TECHNOLOGIES IN UKRAINE</b> <sup>1</sup> Department of Hydraulic and Water Engineering, Lviv Polytechnic National University	59
1.5	Mysak P. <sup>1</sup> <b>CLASSIFICATION AND CALCULATION OF DISCHARGE CAPACITY OF BROAD-CRESTED WEIRS</b> <sup>1</sup> Department of Hydraulic and Water Engineering, Lviv Polytechnic National University	68
1.6	Vozniuk L. <sup>1</sup> , Horbatiuk K. <sup>1</sup> , Sarvadi O. <sup>1</sup> , Maximilian H. <sup>1</sup> , Hetman A. <sup>1</sup> <b>OVERVIEW OF STEEL SPACE TRUSS STRUCTURES</b> <sup>1</sup> Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University	77

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

1.7	Арабаджи В. <sup>1</sup> , Василенко О. <sup>1</sup> МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ФОРМОУТВОРЮЮЧОЇ ТА ВІДЕО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ФУНКЦІЇ СВІТЛА В АРХІТЕКТУРІ ЖИТЛА  <sup>1</sup> Кафедра дизайну архітектурного середовища Одеської державної академії будівництва та архітектури	86
1.8	Фомін В.М. <sup>1</sup> , Фоміна І.П. <sup>1</sup> ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ  <sup>1</sup> Кафедра теоретичної механіки, Одеська державна академія будівництва та архітектури	96
1.9	Чвирова О. <sup>2</sup> , Василенко О. <sup>1</sup> , Танірвердієв А. <sup>1</sup> , Мінченков Р. <sup>1</sup> , Стащенко М. <sup>1</sup> МЕТОДИЧНА ОСНОВА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСУ СВІТЛОВИХ ЗАСОБІВ В АРХІТЕКТУРІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ  <sup>2</sup> м. Одеса  <sup>1</sup> Кафедра дизайну архітектурного середовища, Одеської державної академії будівництва та архітектури	106
2.	CHEMICAL TECHNOLOGIES	
2.1	Дорогань Н. <sup>1</sup> , Черняк Л. <sup>1</sup> АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗОЛИ ВИНОСУ ТЕС В ТЕХНОЛОГІЇ ЦЕМЕНТУ  <sup>1</sup> Кафедра хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	115
2.2	Щербак О.В. <sup>1</sup> , Куценко С.А. <sup>2</sup> , Кричковська Л.В. <sup>2</sup> , Близнюк О.М. <sup>2</sup> , Грицаєнко Ю.А. <sup>2</sup> КАРОТИНОВМІСНІ ПРЕПАРАТИ ПРИ А- ГІПОВІТАМІНОЗНОМУ СТАНІ У ТВАРИН ТА ШЛЯХИ ЇХ УСУНЕННЯ  <sup>1</sup> Державний біотехнологічний університет <sup>2</sup> Національний технічний університет «ХПІ»	143
3.	COMPUTER SCIENCE	
3.1	Kozachok L. <sup>1</sup> ОБРОБКА ЕМПІРИЧНИХ ДАНИХ У СЕРЕДОВИЩІ RSTUDIO З ВИКОРИСТАННЯМ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ R.  <sup>1</sup> Department of Informatics and Apply Mathematics, Kharkiv National Automobile and Highway University	167

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

3.2	<p>Голубничий Д.Ю.<sup>1</sup>, Коломійцев О.В.<sup>1</sup>, Сальник О.В.<sup>1</sup>, Хабоша С.М.<sup>1</sup>, Третяк В.Ф.<sup>1</sup></p> <p>НАБЛИЖЕНІ ТА ТОЧНІ АЛГОРИТМИ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ЦІЛОЧИСЕЛЬНОГО ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ З БУЛЕВИМИ ЗМІННИМИ НА ОСНОВІ РАНГОВОГО ПІДХОДУ</p> <p><sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба</p>	177
3.3	<p>Гурський Т.Г.<sup>1</sup>, Шишацький А.В.<sup>2</sup>, Стасюк Т.О.<sup>3</sup>, Кузьменко О.М.<sup>3</sup></p> <p>АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ ЗАВАДОЗАХИСТУ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ</p> <p><sup>1</sup> Науково-дослідний інститут воєнної розвідки, м. Київ, Україна <sup>2</sup> Навчально-науковий інститут публічного управління та державної служби, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна <sup>3</sup> Військовий коледж сержантського складу, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Полтава, Україна</p>	190
3.4	<p>Рибальченко А.О.<sup>1</sup></p> <p>РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ЦІЛОЧИСЕЛЬНОГО ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ З БУЛЕВИМИ ЗМІННИМИ НА ОСНОВІ РАНГОВОГО ПІДХОДУ</p> <p><sup>1</sup> кафедра комп'ютерної інженерії та програмування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»</p>	218
3.4.1	ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ	218
3.4.2	ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ	223
3.4.3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ	227
3.4.4	РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ	233
3.5	<p>Симбірський Г.<sup>1</sup></p> <p>ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕТЕКТУВАННЯ АНОМАЛІЙ У ВІДЕОРЕЯДІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ</p> <p><sup>1</sup> Кафедра інформатики та прикладної математики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет</p>	238
3.6	<p>Федотов К.<sup>1</sup></p> <p>ЕЛЕКТРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ</p> <p><sup>1</sup> Кафедра математичного забезпечення ЕОМ, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара</p>	251

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

<b>4. ELECTRICAL ENGINEERING</b>		
4.1	<p>Майборода Р.<sup>1</sup></p> <p>РОЗРОБКА ТЕРМОГАЗОДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ТУРБОВЕНТИЛЯТОРНОЇ ПРИСТАВКИ ТРИКОНТУРНОГО ДВИГУНА</p> <p><sup>1</sup> Кафедра авіаційних двигунів, Національний авіаційний університет</p>	259
<b>5. GENERAL AGRICULTURE</b>		
5.1	<p>Lopushniak V.<sup>1</sup>, Hrytsuliak H.<sup>2</sup></p> <p>CHANGE IN THE HUMUS STATE OF ALUVISOL DUE TO IMPLEMENTATION OF SEDIMENT OF SEWAGE SLUDGE UNDER THE ENERGY WILLOW</p> <p><sup>1</sup> National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine <sup>2</sup> Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine</p>	278
<b>6. INNOVATIVE TECHNOLOGIES</b>		
6.1	<p>Sorokina S.<sup>1</sup>, Kolesnyk V.<sup>1</sup>, Polupan V.<sup>1</sup>, Nosulia O.<sup>1</sup>, Chernozhuk O.<sup>1</sup></p> <p>INNOVATIVE SOLUTIONS TO IMPROVE THE CONSUMER PROPERTIES OF COSMETICS</p> <p><sup>1</sup> Department of Trade, Hotel and Restaurant Business and Customs, State Biotechnological University</p>	298
6.2	<p>Zosimovych N.<sup>1</sup></p> <p>ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES AND DATA FUSER IN UAS SWARMS</p> <p><sup>1</sup> School of Robotics, Xi'an Jiaotong-Liverpool University</p>	307
6.2.1	Introduction	308
6.2.2	Background	309
6.2.3	Problem Statement	310
6.2.3.1	Artificial Intelligence of Things	311
6.2.3.2	UAVs Swarm	322
6.2.4	AI Approach	313
6.2.4.1	Fuzzy Logic Technique	315
6.2.4.2	Hardware Improvements	315
6.2.5	Discussion	318
6.2.5.1	Input and Output Functions	318
6.2.5.2	Decision-Making Rule Base	320
6.2.6	Numerical Simulation of Derivative-Free Kalman Filters for Fusion	322
6.2.6.1	Kalman Filter and Data Fusion	322
6.2.6.2	Inference Methods	324



TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

6.2.6.3	Executive Actions	324
6.2.6.4	Numerical Simulation	325
6.2.6.5	Discussion	329
6.3	Марков В.Т. <sup>1</sup> , Шевченко І.В. <sup>1</sup> УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДРІБНО-КУСКОВИХ НАПІВФАБРИКАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СТАРТОВИХ КУЛЬТУР <sup>1</sup> Національний університет харчових технологій	335
6.3.1	ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СТАРТОВИХ КУЛЬТУР В ТЕХНОЛОГІЇ ДРІБНОШМАТКОВИХ НАПІВФАБРИКАТІВ	336
6.3.2	СТАРТОВІ КУЛЬТУРИ В ФЕРМЕНТОВАНИХ М'ЯСНИХ ПРОДУКТАХ	338
6.4	Мурасов Р.К. <sup>1</sup> , Романюк В.П. <sup>1</sup> , Мещеряков І.С. <sup>1</sup> , Мацько П.І. <sup>1</sup> , Капля І.О. <sup>1</sup> МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЗАГРОЗ І РИЗИКІВ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ВПЛИВУ ПРОТИВНИКА <sup>1</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна	344
6.5	Ободович О. <sup>1</sup> , Сидоренко В. <sup>1</sup> , Булій Ю. <sup>1,2</sup> , Степанова О. <sup>1</sup> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДА ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ТЕХНОЛОГІЯХ ОБРОБКИ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ <sup>1</sup> Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна <sup>2</sup> Національний університет харчових технологій, Київ, Україна	352
7.	<b>MECHANICAL ENGINEERING</b>	
7.1	Denysiuk O. <sup>1</sup> ACCOUNTING METHOD OF THE PROPAN COWLING RESISTANCE WHEN CALCULATING THE EFFECTIVE THRUST OF DUCTED PROPAN <sup>1</sup> Ivchenko-Progress SE	360
7.2	Yahlinskyi V. <sup>1</sup> , Hutyria S. <sup>1</sup> , Siforov A. <sup>1</sup> POWER QUALITY ASSESMENT OF HYDRO-PNEUMATIC SHOCK-ABSORBER OF SINGLE- AND TWO-TUBE DESIGN <sup>1</sup> Odessa Polytechnic National University	369
7.3	Котенко К.Е. <sup>1</sup> СПОСОБИ ЗБІЛЬШЕННЯ СТІЙКОСТІ ТРИШАРОВИХ ОБОЛОНКОВИХ СТРУКТУР ДО ДИНАМІЧНИХ ВПЛИВІВ <sup>1</sup> Кафедра теоретичної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури	378

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

8.	<b>METALLURGY AND ENERGY</b>	
8.1	<p>Makarov V.<sup>1</sup>, Perov M.<sup>1</sup>, Kaplin M.<sup>1</sup>, Bilan T.<sup>1</sup></p> <p><b>EXPERIENCE OF RESTRUCTURING THE COAL INDUSTRY ABROAD AND IN UKRAINE</b></p> <p><sup>1</sup> General Energy Institute of NAS of Ukraine, Kyiv</p>	387
8.2	<p>Рубель А.<sup>1</sup>, Кураєва А.<sup>2</sup>, Рубель М.<sup>3</sup></p> <p><b>ДОСЛІДЖЕННЯ РОЛИКОВИХ НАПРЯМНИХ ПОСУДИН ДЛЯ РУХУ У КАНАТНО-ПРОФІЛЬНИХ ПРОВІДНИКАХ АРМУВАННЯ СТОББУРУ</b></p> <p><sup>1</sup> ДП «ОК «Укрвуглереструктуризація», м. Київ  <sup>2</sup> ООО «Пфайзер Україна», м. Київ  <sup>3</sup> РСС «De Anza College», м. Київ</p>	396
9.	<b>TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS</b>	
9.1	<p>Грабовська О.<sup>1</sup>, Деменюк О.<sup>2</sup></p> <p><b>ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГІДРОЛІЗУ КРОХМАЛЮ</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра технології і організації ресторанного господарства, Державний торговельно-економічний університет  <sup>2</sup> Кафедра технології цукру і підготовки води, Національний університет харчових технологій</p>	414
	<b>REFERENCES</b>	423

**SECTION 1. ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.1.1

**1.1 Reconstruction of built-in boiler room**

In recent years and in the near future, the main directions of structural reorganization of industrial construction are the expansion and reconstruction of existing industrial facilities [1, 2, 3]. Also, in connection with the modern trend of technical re-equipment of industrial enterprises, there is a need to reconstruct the buildings and structures in which they are located. Reconstruction involves rebuilding a building with the aim of partially or completely changing its functional purpose. Reconstruction of existing buildings is associated with improvement of production, improvement of operating conditions, change of basic technical and economic indicators, etc., which is accompanied by strengthening of structural elements of these buildings.

This study examines one of these buildings - the administrative and household building (Fig. 1) of an industrial enterprise, located on the territory of the former house-building plant #2 in the village of Masonry of the Lviv region. The body is made of different volumes separated by deformation seams.

The purpose of the reconstruction is to improve the equipment of the built-in boiler room with the replacement of solid fuel boilers. The boiler house under investigation is built into the existing administrative and domestic building (Fig. 2).

Before the reconstruction, it is necessary to carry out an inspection of the existing premises of the boiler house [4, 5, 6]. The survey is conducted with the aim of objectively obtaining data on the actual technical condition of building structures, taking into account changes over time. During operation under the influence of aggressive factors of the external environment, peculiarities of technological processes, there is a risk of violation of the quality of materials, products and structures.



Figure 1. General view of the administrative and household building (photo of "Ecobusiness-Lviv" LLP)

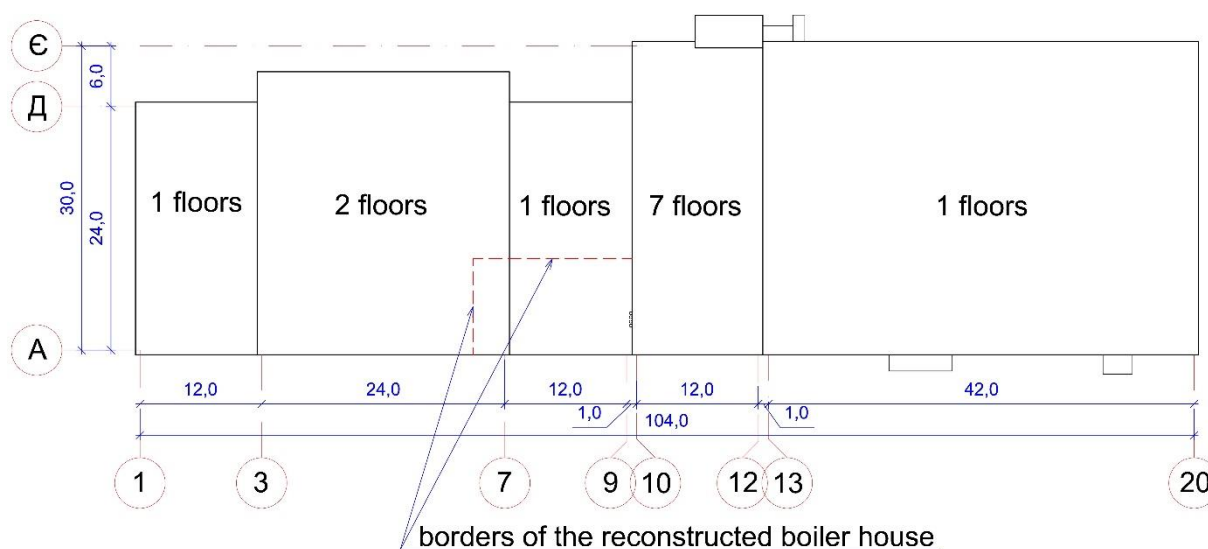


Figure 2. Layout of the boiler house within the building

The starting materials for determining the technical condition of building structures, for their reconstruction, are the results of their technical surveys, which must be performed in a volume sufficient for a full understanding of their technical condition. The result of the survey is the determination of categories of the technical condition of the building structures and the building as a whole.

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

The technical condition of a separate structure is characterized by one of four categories:

- "1" - normal;
- "2" - satisfactory;
- "3" - not suitable for normal operation;
- "4" - emergency.

The first two categories allow the building to be operated without restrictions and additional repair work. 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, reinforcement is required.

According to the structural scheme, the administrative and household building in axes "6-9/A-B" is solved with a transverse full frame, in axes "10-11/A-B" - with a longitudinal full frame (Fig. 3). The housing in axes "6-7/A-B" is two-story, in axes "7-9/A-B" – one-story, in axes "10-11/A-B" – seven-story. The case is designed according to the typical III-04 series.

The grid of columns in all axes is 6,0×6,0 m. The columns of the body in the axes "6-9/A-B" are reinforced concrete with a section of 300×300 mm, in the axes "10-11/A-B" they are reinforced concrete with a section of 400×400 mm. All columns in the direction of support of the crossbars have consoles with a height of 150 mm.

Reinforced concrete crossbars, T-shaped cross-section, 400 mm wide, 450 mm high with undercuts for resting on column consoles (Fig. 4).

Cover and cover hollow reinforced concrete slabs (link, wall, row) 220 mm high, 1200 mm and 1500 mm wide. The slabs rest on the shelves of the brand crossbars (Fig. 4).

The outer walls are made of hinged expanded clay concrete panels with a thickness of 300 mm (Fig. 5). The lower row of wall panels rests on foundation beams.

Spatial stiffness and stability is provided by reinforced concrete diaphragms of stiffness 140 mm thick and floor discs made of reinforced concrete connecting and wall plates.

# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

According to the analysis of the results of the survey, it was determined that the main supporting and enclosing structures: foundations, columns, crossbars, slabs and ceilings, wall panels are in the "2" category of technical condition - satisfactory. However, the structures of windows, doors, and floors are in the "3" category of technical condition - not suitable for normal operation and need repair or replacement.

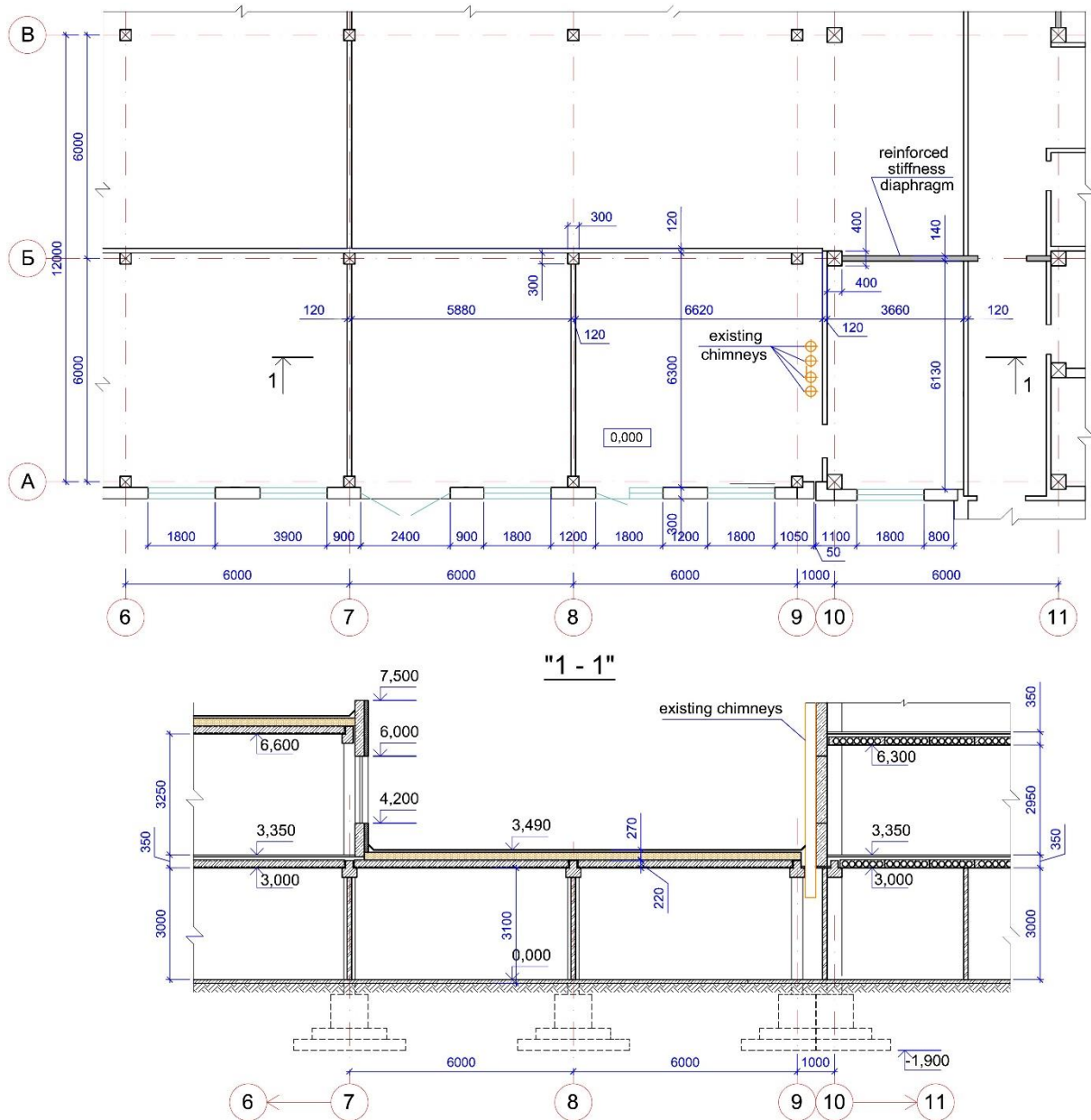


Figure 3. Plan and section of the existing building premises within the boiler house



Figure 4. View of the room in axes "8-9/A-B"



Figure 5. View of the facades of the existing building along axis "A" in axes "8-10"

The reconstruction of the boiler house, according to the norms [7], involves the re-planning of the premises with the use of new equipment, the installation of new equipment (two solid fuel boilers with a capacity of 630 kW each) with the arrangement of foundations for it, the arrangement of floors, the replacement of windows and doors with energy-efficient ones, the insulation of external walls (Fig. 6).

In the process of re-planning, the following rooms are provided (Fig. 4): boiler room (2), wood chip storage (1), boiler room operator's room (4), technical room of the boiler room (5), bathroom and shower room with changing room (3). Degree of fire

resistance - II. The height of the premises is 2,9 m. In the boiler room, in the axes "A-Б/8-9", the height of the premises is accepted due to technological conditions – 3,82 m.



Figure 6. Boiler house plan and sections after reconstruction



## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

The reconstruction involves the partial dismantling of existing partitions and the installation of new walls and partitions. New partitions with a thickness of 120 mm and walls with a thickness of 250 mm are made of full-bodied bricks of the M100 brand on M50 cement mortar. Walls and partitions are reinforced with masonry mesh.

Under the new walls with a thickness of 250 mm, a strip monolithic reinforced concrete foundation with a width of 300 mm is arranged. Marking of the sole of the tape foundation -1,900. The basis of the foundation is a rigid, homogeneous, dark gray loam.

Under the new equipment (boilers), a slab monolithic reinforced concrete foundation with a thickness of 500 mm is arranged, with a laying mark of -0,310.

The new floor construction, with a total thickness of 100 mm, is arranged on the existing concrete preparation.

It is planned to replace external and internal doors with fire doors.

Replacement of windows is planned. Windows in the boiler room are made with single glass and are equipped with devices to prevent possible scattering of glass.

External walls made of expanded clay concrete panels are insulated with polystyrene foam plates 100 mm thick with openings framed with basalt wool 300 mm wide.

According to the norms [8], in the premises of the boiler house, it is necessary to provide easily removable fencing structures with an area of at least  $0,05 \text{ m}^2$  per  $1 \text{ m}^3$  of the volume of the room. The total volume of the boiler room is  $260,3 \text{ m}^3$ . The minimum area of easily removable fencing structures is  $260,3 \times 0,05 = 13,02 \text{ m}^2$ . Two windows with dimensions of  $1,8 \times 1,8 \text{ m}$ , one window with dimensions of  $0,9 \times 1,8 \text{ m}$ , and a part of the roof (on profiled flooring) with dimensions of  $1,5 \times 5,5 \text{ m}$  in plan were adopted as easily removable fencing structures. The area of easily removable fencing structures is  $16,35 \text{ m}^2$ .

During the reconstruction, above the boiler room in the "8-9/A-Б" axes, a partial lifting of the covering by 700 mm is provided. At the request of the customer, two versions of the coating structures were developed in these axes (with maximum preservation of the existing structures and completely new structures).

In the first option (Fig. 7), it is proposed to dismantle three rows of paving slabs (2 slabs of 1,2×6,0 m and 1 slab of 1,5×6,0 m) at the place of raising the covering, to arrange a monolithic reinforced concrete belt, along the monolithic belt, along the edges, install 2 slabs 1,2×6,0 m (previously dismantled), arrange and fasten profiled flooring HC44-1010-0.6 (which serves as an easily removable roof) on the installed slabs.

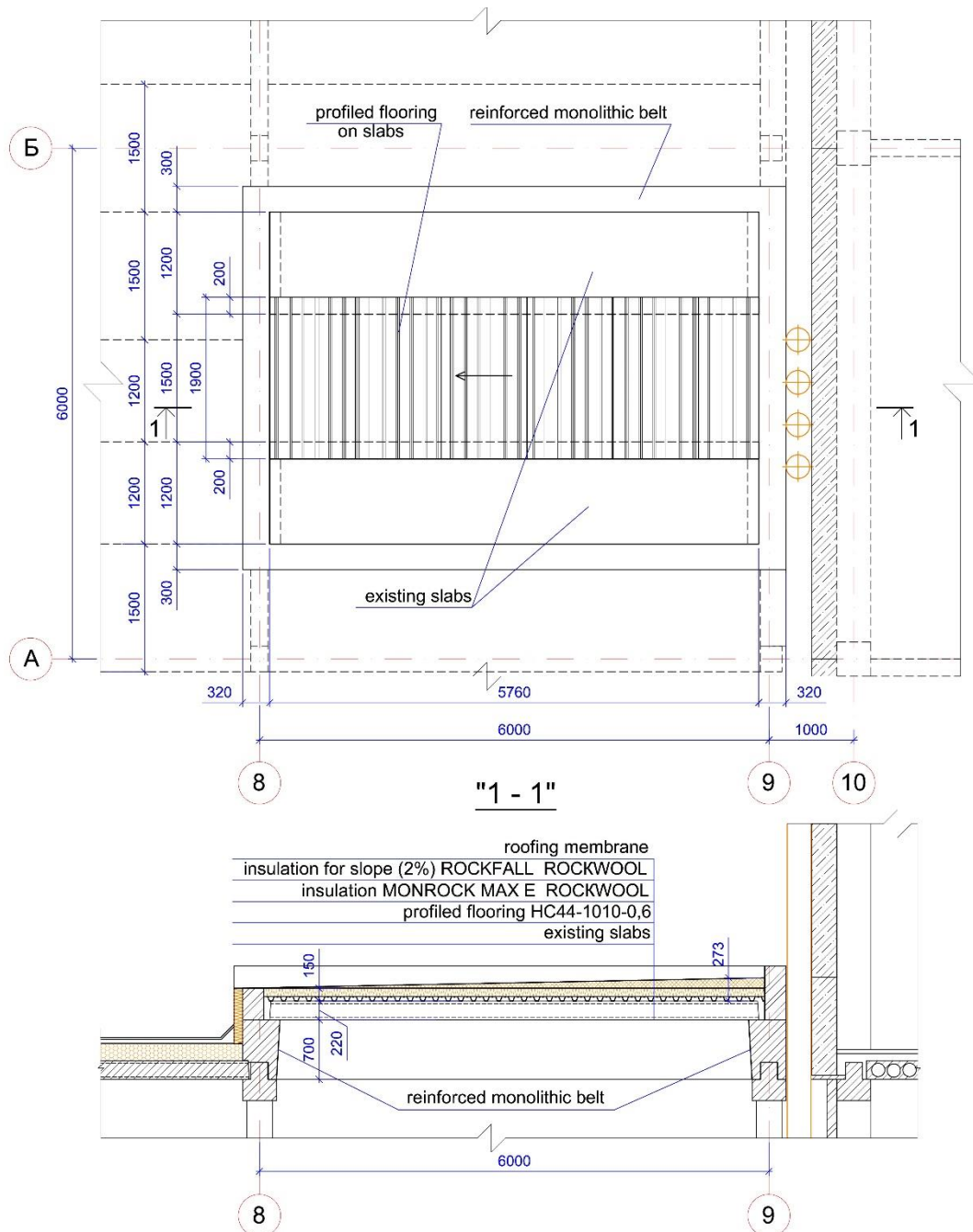


Figure 7. The first variant of arrangement of covering structures

The second option (Fig. 8) involves the complete dismantling of three covering plates, the installation of a reinforced brick wall with a thickness of 250 mm with

pilasters around the perimeter of the opening, on which a system of metal beams from closed profiles is installed. Profiled flooring HC44-1010-0.6 is laid along the beam system.

In two versions, the roof is insulated with mineral wool.

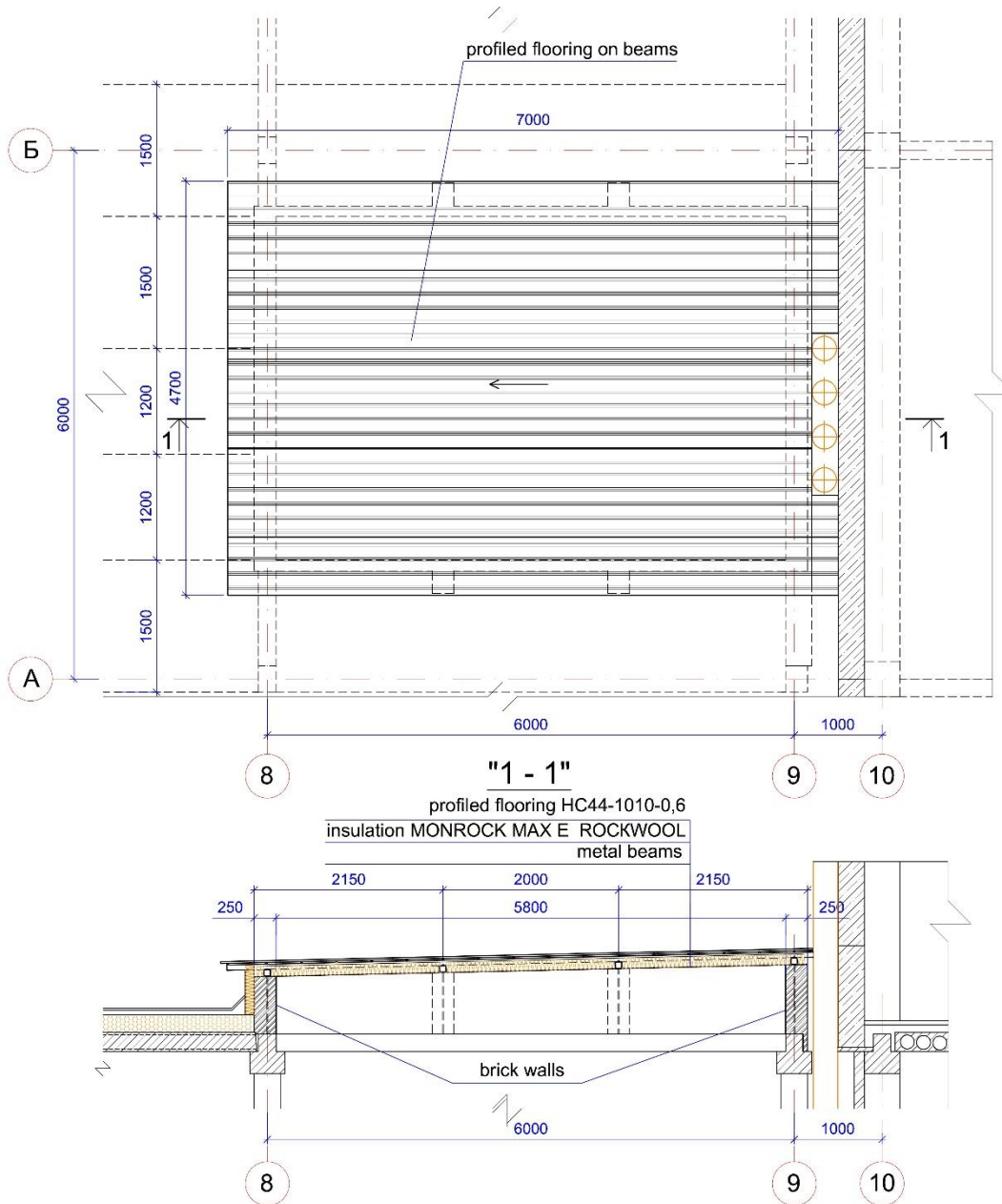


Figure 8. The second variant of the arrangement of the covering structures

Also, within the framework of the reconstruction, a full range of works, provided for such buildings, was performed. The proposed and implemented version of the reconstruction of the built-in boiler house met all the requirements and can be used in the reconstruction of similar buildings.

## **1.2 Інноваційні архітектурно-будівельні технології енергозбереження при реконструкції урбанізованого середовища**

### **Актуальність. Постановка завдання.**

Питання екологічної архітектури стали невід'ємною філософією діяльності, парадигмою нової архітектури, поглибленими і векторно направленими дослідженнями в наукових колах, об'єднуючи різні сфери діяльності і взаємодіючи на всіх рівнях суспільної свідомості. Дослідження на цю тему вже займають досить великий пласт в науковій і практичній діяльності. Варто відзначити їх спрямованість на сучасні технології і розвиток технологічних напрямків в архітектурі, з одного боку [12-14]. З іншого, залишаються питання сучасних методів архітектурного формування архітектурного середовища на принципах сталого розвитку [9-11].

Екологічні стандарти архітектурно-проектної діяльності, що виникли на рубежі XXI століття, покликані регулювати безліч аспектів екологічності, використовуючи сучасні природні, енергетичні та матеріально-зберігаючі технології, технології з нульовим рівнем викидів [15-17]. При цьому структура сучасних еко-стандартів не піднімає питання художньо-естетичного характеру формування архітектурно-просторового середовища з позицій сприйняття його споживачем цього середовища. Тобто, окремі об'єкти не розглядаються як частина «безлічі» об'єктів, які стають «єдністю» і утворюють цілісну систему «природа-людина-архітектурне середовище» самодостатню, само відтворюючу екосистему мегаполісу.

Прагматизм, автоматичний і інколи чисто технічний підхід до створення архітектурних об'єктів протягом останніх десятиліть, виявив недоліки сучасної архітектури у вирішенні питань сталого розвитку. Вирішуючи завдання екологічного, ресурсо-технічного і технологічного характеру, архітектура втрачає своє естетичне значення як систему взаємодій природного і антропогенного. Дискретність архітектурного середовища і його сприйняття,

призводить до дезорієнтації, що в кінцевому підсумку призводить до функціональної і естетичної неспроможності навколишнього середовища формувати цілісний образ, який дає можливість споживачу відчувати себе його частиною. Це доводить відсутність екологічного підходу в сучасній архітектурі, який базується на формуванні об'єктно-просторового середовища як цілісної системи візуально-сенсорних та функціональних факторів місця, тобто своєрідну єдність соціально-функціональних, інженерно-технічних та ідейно-естетичних принципів, як постулатів архітектурного проектування [18, 19].

Сучасні методи будівництва, безумовно, полегшують завдання архітекторам, але в той же час не можна забувати, що в архітектурі поєднуються воедино матеріальне і духовне. Об'єкти архітектури є не тільки технічними виробами в утилітарному дизайні, але і повинні нести естетичну цінність, втілюючи духовні потреби суспільства. Гармонія і цілісність повинні стати своєрідним інструментом технічної і технологічної творчості, перебуваючи на одному рівні з поняттям екологічності, доводячи їх синонімічність.

Шляхи пошуку енергозбереження як основи стійкого (збалансованого) розвитку вже декілька останніх десятиріч обговорюються і впроваджуються світовою міжнародною спільнотою. Після конференцій ООН у програмах досягнення умов сталого, екологічно збалансованого розвитку (Стокгольм, 1972; Хабітат, 1986; Ріо-де-Жанейро, 1992; Стамбул, 1996; Йоганесбург, 2002; Ріо-де-Жанейро, 2012 ) ці питання не обходять і Україну. Стратегія сталого розвитку «Україна-2020» визначала напрямки та пріоритети розвитку країни. Метою реформ був рівень досягнення європейських стандартів життя та гідного місця Україні в світі.

Одним із пунктів програми було передбачено реформу енергетики і програму енергоефективності. Вони зв'язані і з Кіотським протоколом за яким Україна отримувала можливість реалізувати невикористані нею квоти для реалізації проектів зі скорочення викидів парникових газів. Згідно з так званою Схемою зелених інвестицій, яку створила Японія, до воєнних дій було

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

розроблено більше 700 проектів з капітального ремонту (теплосанації) об'єктів соціальної сфери (утеплення фасадів і дахів, заміна вікон і дверей).

Прагнення України у Європейський союз потребувало, з одного боку, розробки і реалізації комплексних екологічних проектів, які зберігають екологічний баланс урбанізованих територій, з іншого - пошук шляхів енергозбереження ще на стадії як проектування, так і будівництва і експлуатації. Ці моменти зв'язані між собою і представляють систему методів екологізації урбанізованого середовища.

Архітектурні проекти з'єднують у собі і еко-естетику, і інженерію в єдину систему у процесі проектування, коли весь спектр питань майбутнього будівництва архітектор, як режисер усього процесу, узгоджує з інвесторами, конструкторами, підрядними організаціями і інженерами комунікацій. При такій технології проектування можна отримати енергозбереження не за рахунок спрощення архітектурних ідей і естетичних заходів, а пошуку інтегрованих інноваційних рішень. Такий підхід відповідає сучасним вимогам щодо реалізації програм сталого розвитку.

Україна ще більш буде розгортати ці Програми у зв'язку з відбудовою країни, і вже зараз ці питання мають пріоритетні напрямки.

Виходячи з вище викладеного, виникає необхідність розглянути питання поліпшення просторових, естетичних та екологічних якостей міського середовища в форматі еколого-урбаністичної естетики, з одного боку, з іншого, підняти питання пошуку енергозбереження як основи сталого (збалансованого) розвитку: проаналізувати існуючий досвід проектування архітектурного середовища життєдіяльності як системи енергоефективних об'єктів та визначити методи енергозбереження архітектурно-конструктивними заходами, що і складає мету даного дослідження.

**Методологія** розглядає архітектуру як двоєдина система, яка складається з двох підсистем: функціонально-енергетичної і естетично-енергетичної на засадах сталого розвитку і енергозберігаючих технологіях. При цьому предметом архітектурного проектування є архітектурна композиція середовища

від зовнішнього до внутрішнього просторів і навпаки, в основі якої лежить поняття «цілісності» сприйняття у формуванні архітектурного середовища як «єдиного» [18, с. 11].

**Методика дослідження:** основана на використанні порівняльного аналізу літературних джерел, аналізі і синтезі практичного досвіду, містобудівному аналізі як основи для виявлення формоутворюючих і енергозберігаючих факторів, на моделюванні (закономірностей, принципів, прийомів і т. і.), на системному аналізі.

### **Основний текст.**

#### **1.2.1 Питання естетики в екологічній (еко-сталій) архітектурі**

Аналіз стану питання щодо процесу екологізації в архітектурно-містобудівному плануванні показав, що до недавнього часу екологія розглядалася як досить вузько спрямована дисципліна. Однак сьогодні, з підвищенням рівня урбанізації, екологія стала глобальним науковим кругообігом знань, що включає віддалені один від одного наукові дисципліни і області практики. Усвідомлення екологічної кризи і незворотності природних процесів, обумовлених періодом промислового розвитку, зажадало прийняття екології як нової ідеології архітектурного і містобудівного проектування [20].

Ці тенденції знайшли відображення в міжнародній декларації Конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку 1992 року в Ріо-де-Жанейро, яка рекомендує кожній країні розробити національну стратегію сталого розвитку на основі економічних, соціальних та екологічних планів, забезпечивши їх відповідність загальним законам природи [20]. Незважаючи на відсутність чіткого наукового визначення сталості, концепція в цілому базується на трьох фундаментальних компонентах: захист навколишнього середовища та його ресурсів, економічне зростання та соціальна справедливість. При цьому існує загальне розуміння його зв'язку з радикальними змінами у всій практиці проектування і будівництва.

Спостерігаються ці зміни в методах проектування в останні десятиліття – майже всю архітектурну діяльність було переорієнтовано на «сталій» або навіть

«екостійкий» дизайн. Відбулася різка зміна акцентів в архітектурному проектуванні, в бік науково-технічних та інженерних рішень, а архітектуру в форматі «сталого розвитку» частіше визначають як рекомендовану еко-стандартами «екологічно орієнтовану архітектуру високих технологій» [21]. Дослідження окремих національних систем екостандартів, таких як американська LEED, британська BREEAM та німецька DGNB, показує, що вони синтезують цілі еко-сертифікації, укладені в три основні напрямки: захист навколишнього середовища та ресурсів, комфортні внутрішні кліматичні умови та енергоефективність. При цьому чітке дотримання критеріїв систем норм зеленого будівництва дає можливість отримати високу оцінку об'єкта і оголосити його екологічно чистим [15-17].

Виникає питання, якщо архітектура відповідає високо сертифікованому стандарту, то це еко-архітектура, а якщо і не відповідає, то вже не екологічна?! Але архітектура – це не просто кількісний набір показників. Перш за все, архітектура надає емоційний вплив на людину, що виражається в організації художнього цілого, через архітектурну композицію.

Для прикладу візьмемо знаменитий «Будинок над водоспадом» Ф.Л. Райта, де автор втілює симбіоз природних стихій і архітектури в спробі гармонізувати конфлікт між архітектурою як ідеєю, комфортним житлом і навколишньою дикою природою. Горизонтальні тераси, що нависають над водою, виступають з центрального масиву, і природні фактури створюють виключно цілісний образ архітектурного і природного об'єкта. При цьому кожен окремий елемент органічної архітектури є частиною цілісного організму, що живе відповідно до функціонального змісту і гармонійної єдності з навколишнім природним середовищем, де внутрішній простір будівлі і зовнішній простір природи «вливаються» один в одного.

Водоспад, будучи конструктивною частиною будинку, за авторським задумом, повинен бути не просто споглядальним об'єктом, а стати частиною життя цього будинку. Синтез спокою, але в той же час буйство, властиве природі, повторюється в архітектурі, призводить до сильного емоційного впливу, впритул



приводячи до поняття «катарсис» - «справжній ефект художнього твору» [18, с. 203]. У цьому сенсі Ф. Л. Райт підкреслює духовну сутність архітектурної цілісності і дає їй технічну інтерпретацію, пов'язану з ідеєю взаємозв'язку між внутрішніми і зовнішніми просторами.

Провівши цей архітектурний об'єкт за критеріями міжнародних екологічних стандартів LEED, BREEAM та DGNB, можна констатувати його повну невідповідність цим стандартам. Хоча він гармонійно вписується в навколишнє природне середовище і, крім залізобетону, створюється з природних матеріалів, де зовнішній і внутрішній простір «тече» порівняно один з одним і людиною. Але в цьому об'єкті немає «головного» на сьогоднішній погляд - заходів щодо скорочення споживання води, електроенергії, зниження викидів вуглекислого газу, використання інноваційних технологій і т. д. А сама система екологічної сертифікації побудована таким чином, що, виключивши хоча б один критерій в екологічному аналізі будівлі, неможливо отримати сертифікат через невідповідність вимогам. Таким чином, об'єкт не можна назвати екологічним!

Такий же висновок ми отримуємо при розгляді будь-яких великих творів майстрів архітектури. Це підтверджує той факт, що архітектура повинна враховувати не тільки «еко», яка в основному вирішує виключно інженерно-технічні завдання. Але в побудові самої системи екологічної сертифікації існує ряд проблем, які вимагають якнайшвидшого вирішення. В іншому випадку визначення формули архітектури, яке було дано в першому столітті до нашої ери давньоримським архітектором Вітрувієм і яким керувалися архітектори до другої половини XX століття, виражене трьома ємними словами - корисність, сила, краса - остаточно втратить одну зі своїх головних складових - художнє вираження - красу. І це вже буде вже щось інше - не архітектура.

Інновації в технічному і технологічному прогресі призводять до іншої проблеми, яка часто взагалі не висвітлюється. А саме, «маркетинговий продукт» під назвою «еко», зокрема «еко-архітектура», призводить до збільшення використання технічних засобів, внаслідок чого збільшуються обсяги їх виробництва, енерговитрати та природні ресурси на їх виготовлення, монтаж і

подальше обслуговування, що в кінцевому підсумку призводить до ще більшого обсягу відходів і викидів [21]. Також необхідно враховувати постійну заміну технічних пристроїв, пов'язану з їх «старінням» на тлі стрімко зростаючого прогресу в технологіях і інноваціях. Більш того, вони «мають менший екологічний ефект, практично не впливаючи на екологічну стійкість будівлі» [22].

Впровадження сучасних технологій і обладнання - це лише 5% екологічності, в той час як максимальний екологічний ефект - до 80% - може бути досягнутий за рахунок архітектурних форм і дизайну будівлі. «Але зараз ми бачимо, як на зміну ідеям сталого розвитку приходять корисливі інтереси промислових груп, які випускають передові технології, матеріали та обладнання («гаджети») як елементи формування екологічної архітектури та «зеленого» будівництва. <... > З'явилися сертифікати та маркування нібито «екологічної архітектури», і почалася їхня торгівля» [22].

Більш того, останнім часом, розкриваючи переваги «екологічних» будівель, увага інвесторів була зосереджена на «розумному бізнесі» [23]. Стурбованість комерційними ідеями сталого дизайну знайшла своє відображення і в тексті Туринської декларації Міжнародного союзу архітекторів 2008 року, в якому говориться, що «самі по собі ринкові методи не здатні забезпечити підтримку стійкості і культурного розмаїття, які є ключовими факторами сталого людського розвитку» [24].

Таким чином, в сучасній архітектурній діяльності відбувається підміна понять «технологічність» і «екологічність». Розширення ресурсної бази за рахунок технологічних процесів і поступові зміни методів проектування, які повинні були привести до збереження навколишнього середовища, привели до зворотного ефекту. В результаті такий продукт не можна назвати «екологічною архітектурою».

Як вихід розглядається використання архітектурних рішень, що мінімізують і оптимізують споживання ресурсів і матеріалів. Такий підхід лежить в основі екологічного проектування, як органічна і природна взаємодія

архітектури і природи, при якому екосистема побудована таким чином, що відходи життєдіяльності одного організму стають їжею для іншого [25]. При цьому ресурсо-ефективність об'єктів досягається архітектурно-планувальними засобами і об'ємно-пластичними рішеннями [26, с. 19]. Подібними прийомами володіє біокліматична архітектура, зокрема заглиблений і сонячний будинок, гео-архітектура тощо, а також прийоми будівельної фізики та архітектурної кліматології.

Резюмуючи вищесказане, можна зробити висновок, що на сьогоднішній день існує «два підходи до розвитку еко-стійкої архітектури. Перший підхід – активне включення в архітектуру всіх новітніх технологічних розробок в області енергоефективності, управління розумними будівлями, використання новітніх матеріалів. Іншим підходом є використання тривимірних, архітектурних методів, що впливають на енергоспоживання і ресурсозбереження, а також максимальне використання природних, а не механічних способів експлуатації інженерних мереж» [26-27]. При цьому технологічні процеси, як основа еко-об'єктів, спрямовані на створення екологічно комфортного і сприятливого середовища, як в приміщенні, так і на відкритому повітрі. Однак тут необхідно уточнити сенс поняття «екологічний комфорт навколишнього середовища» для людини.

Термін «комфорт» (перекладається з англійської як «комфорт») позначає сукупність побутових зручностей: впорядкованість і комфортність будівель, засоби комунікації і т. і. [28]. По відношенню до навколишнього середовища під комфортом розуміється «сукупність сприятливих умов навколишнього середовища, при яких психічні і фізіологічні функції людини знаходяться в стані найменшого стресу» [29].

Аналіз багатьох існуючих досліджень з оцінки комфорту виявив певні умови і їх параметри, що задовольняють основні фізіологічні потреби людини - це природно-кліматичні, геолого-геоморфологічні, складні ландшафтні та інші умови, екологічна обстановка зокрема, а також соціально-економічні показники. При цьому сукупність різних умов, найбільш сприятливих для життя, формує

екологічний комфорт, а сприятливі для господарської діяльності населення - соціальний комфорт проживання [26-27].

Існує ряд параметрів комфортних умов, які широко вивчені і легко прораховуються. Вони вже не вимагають доказів і сприймаються в науці однозначно. Наприклад, серед мікрокліматичних умов навколишнього середовища, що впливають на комфортність умов для людини, виділяють групу показників, серед яких визначається комфортна температура в межах 16-24 ° С, комфортна відносна вологість повітря - 40-60%, комфортний режим аерації в межах 0,1-0,15 м / с, освітленість - 500 лк, теплове випромінювання - 21-460 ккал год / людина, шум в діапазоні 10-45 дБ, амплітуди коливань до 0,2 мм

Однак на мікроклімат міста, крім природних умов, впливають існуючі будівлі, які змінюють природний рельєф і включають в себе безліч вертикальних і горизонтальних поверхонь, промисловість, а також транспортну мережу з щільними транспортними потоками. У цьому випадку поліпшення екологічних властивостей архітектурного середовища полягає в оптимізації екологічної ситуації «за рахунок розвитку ландшафтної складової навколишнього середовища» [30, с. 112].

Збільшення площі зелених зон у місті, як шумозахисних зелених екранів, а також створення «зелених коридорів», є невід'ємною частиною санітарно-гігієнічної складової екологічного благоустрою комфортного архітектурно-просторового середовища. Також відбувається коригування комфортних показників, таких як вологість, температура повітря і т. д. за рахунок водно-зелених продуктів. Зокрема, відзначається, що вода зменшує забруднення міського повітря, очищаючи його від пилу і газів, а також сприяє розсіюванню шкідливих атмосферних домішок. Повітря з передмість, переміщаючись по великих водних і зелених зон, проникає далеко в місто. Прозорість атмосфери в цьому випадку вище на 6-8%, а прихід ультрафіолету на 30% більше, ніж в районах міста, позбавлених водойм і зелених зон. В іншому випадку зниження прозорості повітря в містах призводить до погіршення освітленості, а зниження

інтенсивності сонячної радіації впливає на природні процеси живих організмів [27].

Вода в поєднанні з рослинністю здатна впливати на вітровий режим, посилювати сприятливі повітряні потоки, зменшувати перегрів зовнішнього середовища, підвищувати вологість повітря, пом'якшувати контраст температурного режиму. [20].

Також наголошується, що шуми природного походження, такі як шелест листя, дзюрчання води, щебетання птахів, шум дощу, або прибою, благотворно впливають на здоров'я, в той час як антропогенні шуми, навпаки, є джерелами постійного дискомфорту для людини. В середині минулого століття рівень шуму в міському середовищі не перевищував 80 дБ, але зараз досягає 100 дБ і більше, а рівень в 140 дБ - це вже больовий поріг. Чим голосніше шум, тим негативніше він впливає на нервову систему.

При цьому існують певні умови комфорту архітектурно-просторового середовища, які не підлягають числовому вимірюванню - це умови комфортного середовища на рівні сприйняття - процесу відображення в свідомості людини навколишньої дійсності (предметів або явищ) як цілісного чуттєвого образу. Часто поняття «комфорт» на цьому рівні приписують суб'єктивному почуттю, через відсутність жорстких рамок. Однак тут основою є гуманітарні науки, де доказовою базою для меж тих чи інших параметрів є зовсім інші показники, які не вимірюються чисельними методами.

Отже, комфортне візуальне середовище - це середовище з найрізноманітнішими елементами в навколишньому просторі. Наявність вигнутих ліній різної товщини і контрастності, гострих кутів у вигляді вершин і точок, що утворюють силует, різноманітність кольорів, потовщення і розрідження видимих елементів і різна їх віддаленість - характерні риси зорового комфорту, де навколишнє середовище створює сприятливі умови для прояву фізіологічних механізмів зору.

Апелюючи до науки «відеоєкологія», акцентовано увагу на концепції саккадної автоматизації, яка дає можливість аналізувати візуальне міське

середовище, виділяючи в ній поля, які не відповідають механізмам зору. Так великий дискомфорт викликають однорідні і агресивні видимі поля, тобто поверхні, на яких або відсутні видимі елементи, або їх кількість мінімальна - монолітне скління, глухі фасади, або поверхні, на яких зосереджена велика кількість однакових елементів - багатопверхові будинки з великою кількістю вікон на фасаді. Тривале перебування людини в такому середовищі призводить до порушення автоматизації саккад, так як «оку неодмінно потрібно зупинитися на якомусь елементі, іншими словами, після саккади око повинно за щось «зачепитися». Як тільки це відбувається, око заспокоюється і амплітуда його саккад зменшується до мінімальних значень» і людина - споживач цього середовища, не відчуває зорового дискомфорту [31].

Таким чином, «декоративність» в архітектурі, як одне з художніх властивостей, що підсилюють емоційну виразність в навколишньому предметно-просторовому середовищі, не є надмірністю. Декоративні елементи «мають функціональне значення, вони потрібні для прояву автоматизації саккад так само, як повітря для автоматизації дихання» [31].

Розуміння системи сприйняття в сфері архітектурно-містобудівної діяльності - це, перш за все, розуміння «... знання про взаємовідносини людини і навколишнього середовища, їх значення для людини і для підтримки стійкої рівноваги між ними ..." [32]. І в залежності від того, як людина сприймає те чи інше архітектурно-просторове середовище, яке його оточує, архітектори повинні формувати його відповідно до цих особливостей сприйняття. Такий підхід визначає еко-сталу сутність архітектурної діяльності через систему «природа – людина – архітектурне середовище».

Елемент підсистеми «середовище», а в даному контексті «архітектурне середовище» означає «ту частину нашого середовища, яка утворена архітектурно (художньо) обґрунтованими тривимірними спорудами, обладнанням та системами благоустрою, об'єднаними в цілісність за законами художньої єдності» [33, с. 22]. При цьому, використовуючи різні методи художньої організації простору. Споживач навколишнього середовища формує кінцеве

враження - архітектурний образ. «Архітектурне середовище» відрізняється від «архітектурного простору» зануренням людини в простір і створенням певних вражень від його сприйняття, за рахунок образного переосмислення побаченого. Саме формування середовища як світу образів визначається як «естетична цілісність середовища», і полягає в єдності трьох аспектів системи: матеріального, енергетичного та інформаційного [18]. Про це говорив і В.І. Вернадський в ноосферному підході і в своєму законі «єдності організму і середовища», який говорить, що життя розвивається в результаті постійного обміну речовиною та інформацією на основі потоку енергії в сукупній єдності середовища і організмів що населяють його. При цьому форма існування організму завжди відповідає умовам його життєдіяльності [34, с. 49].

Навколишнє середовище впливає на людину конкретними фізичними параметрами за допомогою архітектурної композиції, як естетичної, так і екологічної, які, в кінцевому рахунку, викликають відчуття психологічного комфорту при творчих успіхах архітектора, або дисгармонію з навколишнім середовищем при його невдачах.

Використання різних варіацій світлих структур, форм і просторів в композиційних рішеннях дозволяє створити ряд стійких метафор, які змінюють почуття оптимізму, або песимізму, спокою, або тривоги, відчуття переходу від стійкості до хиткості в залежності від переважання світла і тіні, їх розчленованості, ступеня щільності і контрасту. При цьому головним завданням архітектора є створення середовища на фізичному рівні, в якому за допомогою сприйняття і осмислення побаченого в свідомості людини, вона (людина) відчувала б себе частиною цього середовища, не втрачаючи зв'язку з природним началом. В іншому випадку споживач цього середовища схиляється в бік психологічних захворювань, званих «синдромом великого міста».

При цьому сприйняття архітектурно-просторового середовища базується на композиційній «цілісності» і є результатом взаємодії двох підсистем: матеріальної та естетичної. Перша – «цілісність фізичної даності, яка матеріалізується в архітектурі у функціонально визначеному середовищі» [18, с.

189]. А друга - форма її відображення в свідомості людини, через сприйняття міського середовища на різних структурних рівнях, від регіональних і міських утворень до інтер'єрів приміщень. Зорове сприйняття не зводиться до дзеркального відображення дійсності, а ґрунтується на інтуїтивному усвідомленні побаченого, причому людині не обов'язково усвідомлює цей процес, він все одно присутній в ній, впливає на її візуальну оцінку навколишнього середовища, зіставляє її параметри з попереднім досвідом, відбувається вибудовування цілісного зорового образу в свідомості людини.

Естетична підсистема цілісності заснована на переході дисперсного «набору» в «гармонію» за допомогою різних варіацій світлових структур в композиційних рішеннях, введенні проміжних просторів, що мають в порівнянні з людиною ієрархічні відносини. Ці відносини відбуваються на стиках зовнішнього і внутрішнього просторів, метафоризуючись у сприйнятті людини в архітектурне «єдине» [18, с. 17]. Відзначається, що «зовнішні і внутрішні категорії середовища набувають єдності в сприйнятті людини тільки в результаті багаторазових порівнянь», тобто, певним чином, шляхом зіткнення різних аспектів, що постійно змінюються, зовнішніх просторів і «особистого кокона» [35].

Така складна система сприйняття може функціонувати, завдяки наявності посередника, спрощуючи її, приймаючи біполярні ознаки. Тобто, існуванням «двох антиподів, перехід між якими здається неможливим» можливо завдяки введенню елемента - медіатора, званого «посередником» [18, с. 236].

Сьогодні, з огляду на прагнення людини в урбанізованому середовищі до природності і екологічності, природа також може виступати таким медіатором - посередником, враховуючи різні його тривимірні і образні вирази. Тут звертається увага на медіативний принцип художнього сприйняття, при якому медіатор-посередник постає як фокус-символ, що вбирає в себе найяскравіші характеристики архітектурної мови. При цьому медіатор створює асоціативне поле, в якому стає своєрідним центром тяжіння і збудником асоціативно-формального ланцюга. Специфіка архітектурних медіаторів полягає в тому, що



вони мають матеріальну основу – їх слід розміщувати на стиках найважливіших соціальних функцій, виділяючись у навколишньому середовищі, візуально завершуючи панорами, зовнішні та внутрішні перспективи різних структурних рівнів, створюючи при цьому композиції, що несуть велику емоційну силу [18, с. 27].

В результаті можна виділити два типи факторів, що формують естетичне сприйняття цілісності навколишнього середовища. Перша являє собою асоціативне поняття - образне узагальнення середовища, яке фізично не спостерігається разом. А другий тип представлений як «посередницька форма», яка візуально об'єднує враження різних часів, фізично «монтуючи» їх [18].

### **1.2.2 Сталий розвиток і енергоефективність будівель**

Сучасний розвиток архітектури називають постіндустріальним, а будівлі – будівлі високих технологій. Це метафоричне визначення архітектури означає її здатність втілювати в своїх формах і просторах досягнення науки і все зростаючі можливості техніки, різноманіття технологічних новацій, які враховують кліматичні особливості територій, вплив сонця і вітру, навколишній рослинний світ – той же закон збереження енергії. Цей закон розкриває нам суть існування людства: енергія не створюється заново і нікуди не зникає.

Останні десятиліття практично вся архітектурна діяльність переорієнтувалася в «стале» або навіть «еко-стійке» проектування. Відбулася різка зміна акцентів в архітектурному проектуванні в сторону науково-технічних та інженерних рішень і архітектура в форматі «сталого розвитку» частіше визначається як «екологічно орієнтована архітектура високих технологій», рекомендована екостандартами [21].

Світло як одна з форм енергії може бути перетворене в роботу, теплоту або потенційну енергію хімічних речовин їжі. З цього випливає, що якщо яка небудь система (як нежива, так і жива) отримує або витрачає енергію, то така ж кількість енергії має бути вилучено з навколишнього її середовища. Енергія може лише перерозподілятися або переходити в іншу форму в залежності від ситуації, але при цьому вона не може виникнути нізвідки або безслідно зникнути. Тобто, усе

зв'язано один з одним і в цій парадигмі закладено методологічний підхід до вирішення питань енергозбереження. Якщо підходити системно, то дослідження енергозбереження, так чи інакше, охоплюють весь спектр наукових досліджень в архітектурно-будівельній галузі і на сучасному розвитку науки підсилюють синергізують один одного.

Так екологія вивчає зв'язок між сонячним світлом і екологічними системами, всередині яких відбуваються перетворення енергії світла. Так, як об'єктами дослідження екології є системи вищого рівня окремих організмів: популяції, біоценози, екосистеми, а також вся біосфера, а предметом виступає вивчення організації і функціонування таких систем, то можна констатувати, що і екологія і архітектура, як друга природа, методологічно по'язані між собою. У методологічному підході сучасна архітектура, як наука, виділяє одним з головних своїх прикладних завдань - розробку принципів такого архітектурного проектування, при якому використання природних ресурсів стає раціональним на основі сформульованих і екологією, і економією, і естетикою загальних закономірностей організації життєдіяльності суспільства як еко-системи.

Відштовхуючись від позиції Хартії Міжнародної спілки архітекторів ЮНЕСКО, яка визначає архітектуру як міждисциплінарну галузь знань, «...що включає декілька головних компонентів: гуманітарні, соціальні та фізичні науки, технологію і образотворче мистецтво...» [12, с. 11.], треба зазначити, що архітектура здатна поєднати системно різно направлені вектори. Вузко-дисциплінарний підхід до архітектури, що вилучає її з цілісної системи «природа-людина-архітектурно-просторове середовище» і розділяє на різні наукові дисципліни, не дає уявлення про архітектурну діяльність в цілому, як ту, що може, на системному рівні, об'єднати і екологічні аспекти, і архітектурні, і інженерні і естетичні в сучасній проектній практиці, як в регенерації урбанізованого, так і в створенні нового: «цілісного» високо комфортного матеріально-енергетичного і еко-естетичного середовища, в якому живе і діє сучасна людина, з одного боку, з іншого – формування «другої природи», як частини еко-системи, яка може само відтворюватися.

В наукових дослідженнях цих питань можна виділити наступні напрямки. Це екологічні, соціологічні, технологічні заходи енергозбереження. Вони всі зв'язані з архітектурою, з архітектурним проектуванням і розглядати їх окремо один від одного на сучасному етапі розвитку неможливо. Але, як було вище зазначено, архітектура – міждисциплінарна складна система. І для її визначення треба розглядати кожну складову окремо, а також зв'язки і відносини між ними, як узагальнення наукових досліджень.

На сьогоднішній момент основна архітектурна діяльність торкається вже існуючого середовища в умовах реконструкції міст. Їх системна реконструкція з пріоритетом у бік архітектурно-інженерних заходів з оптимізації енергоспоживання розглядається у світі з позицій так званих низько вуглеводних міст. Їх метою є формування такої архітектурно-містобудівної інфраструктури міста, яка раціонально застосовує енергії з відновлюваних як природних, так і штучних джерел і створює високу якість життєдіяльності населення. При цьому ці міста, або їх частина є органічною складовою екосистеми з високим природним потенціалом, яка формується із застосуванням архітектурно-містобудівних, екологічних, функціонально-просторових, архітектурно-естетичних, інженерно-технологічних засобів.

Так, у місті Масдар (буквальний переклад - *джерело*) в ОАЕ можна розглядати цілу систему заходів енергозбереження. По-перше, сама ідея міста – це будівництво міста оазису в пустелі. Для цього, по-перше, були розроблені проекти з чистої енергетики - електростанція сонячної енергії потужністю 40-60 МВт. На дахах будинків розміщуються сонячні батареї загальною площею 130 км<sup>2</sup>. По периметру міста запроектовано і вже будуються вітро-генератори енергоемністю 20 МВт, електростанція водневого палива 500 МВт. По-друге, запроектовані інноваційні технології в формуванні пішохідної та транспортної інфраструктури, де використовується електричний персональний автоматичний транспорт PRT, а в формуванні промислової і житлової інфраструктури - пристрої, що поліпшують екологічні характеристики міського середовища - використання сонячної енергії та інших відтворюваних енерго-джерел, що

матимуть стійку екологію усього міста з мінімальними викидами вуглекислого газу та сміття.

У Масдарі будуються стіни по периметру, щоб захистити місто від гарячого пустельного вітру. Відсутність автомобілів дозволить створити вузькі тінисті вулички, які проводитимуть легкий вітерець із одного кінця міста у інший. Архітектори і інженери так запроектували планувальну структуру міста, щоб превалюючи вітра пронизували місто і освіжали б його в умовах пустелі. Ці заходи також допомагають генераторам прохолодного бризу, які розташовані по всьому місту, що дозволяє їм працювати більш ефективно. Температура на вулицях Масдара на 12-15° С менше, ніж в Абу-Дабі. Місто має нейтральний рівень емісії вуглецю, вся енергія виробляється з використанням відновлюваних джерел, включаючи найбільшу сонячну енерго установку на Близькому Сході. Запроектовано і будуються вертикальні міські ферми, які повністю забезпечать Масдар їжею. Вони, також, використовують інноваційні біологічні системи замкнутого циклу, так і інженерні заходи поновлюваної енергії.

Штучно створений природний потенціал міста відповідає концепції «зеленого» будівництва, яка передбачає різноманітну інфраструктуру ландшафтно-рекреаційних заходів енергозбереження. Міські території органічно включають численні фонтани, канали, каскади і водоспади, які працюють на альтернативній енергії. Система громадських просторів пов'язана з затіненими житловими вулицями, які зв'язують будинки, інноваційні центри, школи, ресторани, театри, магазини. Наряду з заходами ландшафтного дизайну – озелененням, водними пристроями, створенням штучного природного середовища - комфортний мікроклімат в місті будуть створювати будівлі з інноваційними технологіями. Але в умовах пустелі цих заходів не достатньо.

Над Масдаром створюється захисна ажурна конструкція, яка буде захищати від палаючого сонця і пустельних бурь. Це може бути використана фтор полімерна плівка ETFE - новий матеріал, який надає сильний вплив на принципи проектування і вигляд будівель. Його було застосовано у 2000 році у «Проекті Едем» в Північному Корнуоллі - ботанічному саді площею 22 тис. кв.м,

що розмістився в оранжереях під геодезичними ETFE-куполами. Після Eden Project, назва якого на українську переводять іноді як «Райський сад», вже в першій декаді нового століття на основі ETFE було побудовано ще кілька знакових будівель. Найвідоміші з них - спортивні споруди: футбольний стадіон Allianz Arena в Мюнхені (2006), олімпійські об'єкти «Пташине гніздо» і «Водний куб» в Пекіні (2008) і ін.

Безумовно є і інша сторона цих амбіціозних проєктів. Це використання ресурсів на виготовлення усієї їх інфраструктури. На сьогоднішній момент існує принцип екологічності у будівництві. Він виражається не тільки в виготовленні і впровадженні екологічних матеріалів і систем планування, а і додержання екологічності у всьому ланцюгу, починаючи з добування сировини, її обробки і використання.

На сьогодні у світі існує декілька еко-технічних підходів, в яких розглядаються заходи енергозбереження через призму міжнародних екологічних стандартів в будівництві із застосуванням методу порівняльного аналізу. Це визначило загальні критерії окремих національних систем еко-стандартів таких, як американська LEED, британська BREEAM і німецька DGNB, «зелений» французький стандарт HQE. Вони синтезують в собі основні цілі еко-сертифікації, які полягають в трьох визначних напрямках: **захист навколишнього середовища, комфортні внутрішньо-кліматичні і зовнішньо-просторові умови і енергетична ефективність та еко-естетика на основі енергозберігаючих технологій.**

Крім прямої користі для екології і комфортних умов для користувачів, екологічні стандарти - засіб для розвитку і поліпшення проєктів. Перш за все, для інвесторів і власників, а також для місцевої будівельної галузі. Еко-сертифікація ставить на чільне місце комфорт людини, як з технічної точки зору, так і з позицій еко-естетики, і тільки потім розглядає екологічні, економічні цілі, а також вплив на клімат. На приклад, французький стандарт HQE розглядає технічні параметри для територій і будівель, які включають два типи вимог:

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

- вимоги, пов'язані з оцінкою екологічності будівлі, і включають в себе 14 завдань, об'єднаних в 4 теми (рис. 1). Кожне завдання має кілька рівнів: обов'язковий, ефективний, із застосуванням сучасних рішень, і дуже ефективний, для досягнення якого застосовуються інноваційні технічні рішення.

- вимоги до екологічного менеджменту проекту (аналог ISO 14001).

Сертифікація HQE насамперед націлена на ефективність прийнятих проектних рішень і управління будівельними процесами, адаптованими до нормативної бази будь якої країни. Французький стандарт, як узагальнюючий системний підхід, дозволяє розглядати проект за сукупністю критеріїв, які розроблені на основі технічних і наукових робіт.

Вся робота над проектом починається з широко представленої міждисциплінарної команди. Це і соціологи, і економісти, і маркетингологи, і інженери і т. д. Так, першим завданням для туристичного кластера Тагазута (Марокко) із залученням державних і приватних інвесторів стало створення нової зони економічної активності зі збереженням унікальних природних особливостей, що повинно зіграти позитивну роль для місцевого населення. Проект комплексу в Тагазуті - частина національної та регіональної стратегії соціально-економічного та рекреаційного розвитку території, яка включає в себе кілька населених пунктів зі своїми специфічними особливостями. Було враховано розвиток прилеглих територій за допомогою програм спортивних і культурних заходів для створення додаткових робочих місць. Надалі планується розвиток туризму всередині країни з використанням місцевих особливостей, що підтримує місцеве населення.



Рис.1- Чотирнадцять задач і чотири теми технічного зводу HQE™.

Медіна, яка розташована в центрі комплексу, - не тільки місце відпочинку і культурних подій, але місце представлення різних місцевих ремесел. Розвиток Тагазута передбачається як для туристів, так і для місцевих жителів, ці два напрямки відібуються в житловій та діловій забудовах. Залив Тагазут - перший проект за межами Франції по сертифікації схеми територіального розвитку за HQE. Всі території курортних готелів були розглянуті з точки зору екологічних цілей проекту, деякі з будівель вже були сертифіковані HQE як ті, що будуються.

Цей проект - приклад планування розвитку території на регіональному рівні, який повністю враховує ландшафтні та територіальні особливості. План охорони природи, соціальної і культурної спадщини і реалізація спільних ініціатив, об'єднання всіх зацікавлених сторін стало метою сталого розвитку цієї території.

Актуальним, також для регіонів з високою щільністю забудови, стає енергетична реновація будівель. Так, у Франції 97% будівлі мають потенціал для скорочення енергоспоживання на етапі експлуатації. Тому сертифікація існуючих будівель - це механізм для керуючих компаній і власників, що дозволяє оцінити і поліпшити існуючі активи, особливо енергетичні показники.

Існує декілька напрямів визначення енергозбереження будівлі. Перший - «Стала будівля для власників» стосується конструкцій будівлі. Технічна вимога

«Енергія» стосується розрахунку споживання первинної енергії на опалення, охолодження, освітлення, гаряче водопостачання, вентиляцію, додаткове обладнання відповідно до чинного законодавства або математичної моделі.

Другий напрям - «Стале управління» призначене для підвищення ефективності при експлуатації будівлі. Технічна вимога «Енергія» націлена на зменшення енергоспоживання і підтримку належного функціонування обладнання. Саме на етапі перед проектним аналізом, а потім на стадіях проектування архітектори пліч опліч з інженерами різних напрямків розробляють принципові схеми майбутнього будівництва.

Так, на сьогоднішній момент марокканське агентство по сонячній енергії (MASEN) розпочало будівництво найбільшого заводу сонячної енергії в світі в регіоні Уарзатат. Будівля, в якій будуть розташовуватися офіси і конференц-центри, має бути екологічною і максимально технічно вивіреною. У зоні напівпустель, де ресурси обмежені, раціональне використання ресурсів: води, енергії і матеріалів, а також планування і правильне управління будівництвом мають важливе значення.

Будівля є символом амбіцій Марокко в галузі поновлюваних джерел енергії і має інноваційну архітектуру, яка підкреслює унікальність об'єкта і специфіку місцевих умов. І, нарешті, проект є ще більш складним, багатофункціональним за своїм призначенням: дослідний центр, місце роботи, освіти, відпочинку. Сполучені між собою будівлі забезпечують цю багатофункціональність.

Особливу увагу було приділено місцю розташування майданчика поблизу річки Чааби, яка є джерелом води і інфраструктурним об'єктом. Для максимальної оптимізації енергії застосували такі рішення:

- південна експозиція фасадів мінімальна, для мінімізації їх нагрівання використані алюмінієві фасади;
- зовнішні огорожувальні конструкції мають високі ізоляційні властивості;
- природне і штучне освітлення оптимізовані;



- в будівлі використовуються світлодіоди або компактні флуоресцентні лампи. Розроблена природна система опалення та охолодження; вітрова вежа використовується для охолодження конференц-залу і відкритих громадських просторів. Матеріали також були дуже ретельно підібрані. Перероблене пробкове дерево використовувалося для теплоізоляції частини будівлі. Запроектована і використовується автономна система очищення води з мікрообробки фільтрами.

Ця будівля в Уарзат є першою, що отримала сертифікат exertional HQETM на території Африки. Даний високий рівень сертифікації відображає дотримання технічних вимог по всіх темах сертифікації (енергія, навколишнє середовище, здоров'я і комфорт), а також амбіційність завдань. Управління проектом з самій початковій стадії враховує екологічні аспекти, що полегшує процес реалізації.

Будівля досягло рівня споживання енергії в 35 кВт / ч / м<sup>2</sup> / рік. Вся енергія, яка використовується в будівлі, - сонячна. Вода, зібрана на очисній установці повторно використовується для змиву туалетів і для поливу садів.

Офісна будівля Марокканського агентства по сонячній енергетиці в Рабаті - це впровадження передових екологічних технологій.

Ці приклади показують підходи і засоби до енергозбереження на основі високих технологій і інноваційних впроваджень.

Але в арсеналі архітекторів і конструкторів є формотворчі заходи. Studio Gang створила будівлю, яка відкидає мінімум тіні. Вони адаптували під рух сонця форму офісної будівлі у парку Хайл-Лайн. Успіх нью-йоркського Хайл-Лайна швидко привів на ділянку девелоперів. Ціни на нерухомість в районі зросли в 2-3 рази.



Рис. 2. Studio Gang створила будівлю, яка відкидає мінімум тіні [38]

Територію стали забудовувати преміальними об'єктами, які змінюють характер парку і банально затінюють його територію. Компромісне рішення запропонувало бюро Джоан Ганг. У проєкті 40 Tenth Ave геометрія будівлі формується з аналізу сонячних променів. Кути будинку підрізані всередину периметру, щоб відкидати на парк мінімум тіні (рис.2).

Свій принцип архітектори назвали «solar carving» - «вирізування сонцем». Бюро зробило вже три проєкти, в яких вони вивчили зв'язок сонця з формою будівлі. Всякий раз геометрія будівлі формується на основі кута падіння сонця.

### **1.2.3 Сталій розвиток як взаємодія систем «природа-людина-архітектурне середовище» і «енерготехнології-людина- архітектурне середовище»**

Прекрасним прикладом, що демонструє сукупність обліку всіх параметрів і критеріїв комфортності навколишнього середовища для людини, як чисельних, так і художніх і естетичних, є багатофункціональний комплекс Chaoyang Park Plaza в Пекіні. За основу автори проєкту взяли традиційну китайську пейзажну композицію стилю Шань-Шуй, що зображає поєднання гір і водойм - священні елементи, що символізують чоловіче і жіноче начало інь-ян. Переносючи характерні риси східного пейзажного живопису, такі як озера, струмки, долини, ліси, каміння, гори і водоспади в сучасний «міський пейзаж», створюється баланс між щільним міським розвитком і природним осередком.

Розташований в центральному діловому районі Пекіна, цей комплекс примикає до найбільшого пекінського парку Чаоян. Розташований на кордоні, де

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

поєднуються природна краса озер і останні тенденції мегаполісу, цей архітектурний об'єкт є своєрідним синтезуючим центром - форми будівлі відображають природні елементи природного ландшафту і поширюють їх далі в міський простір (рис.3).

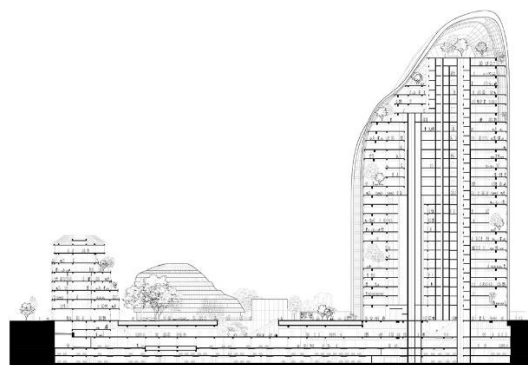


Рис. 3- Багатофункціональний комплекс Chaoyang Park Plaza в Пекіні [37]

Подібно до високих гірських скель, пара асиметричних будівель розташована над озерним ландшафтом Китаю. Будучи композиційним центром цього комплексу, обидві будівлі нагадують скельні утворення, які пройшли природний процес ерозії. На повністю зашкленій зовнішній оболонці будівель виступаючі борозни не тільки підкреслюють природність ліній, але і служать основою для пасивної системи вентиляції. Біля підніжжя гірських хмарочосів розташовані чотири нижніх офісних будівлі, що нагадують відполіровані водою річкові каміння. Плавні, округлі, і кожен зі своїми особливостями, вони тонко організуються в просторі, створюючи при цьому єдиний цілісний образ. До

нього примикають два житлових багатоповерхових будинки - занурені в зелень терасові обсяги, що символізують лісові хащі, що тягнуться між гірськими хребтами. При цьому кожен окремих архітектурний елемент комплексу є частиною цілісного організму, що живе відповідно до функціональним змістом і гармонійною єдністю з навколишнім природним середовищем, де внутрішній простір будівель і космічний простір природи доповнюють один одного.



Рис.4 - Плавні, округлі, і кожен зі своїми особливостями, вони тонко організовуються в просторі, створюючи при цьому єдиний цілісний образ [37]

У внутрішні простори комплексу також вносяться ландшафтні елементи, у вигляді з'єднання двох висотних будівель з вхідним простором холу, одним з ключових елементів якого є водоспад. Звуки поточної води, рослинні стихії та природність архітектурних об'ємів створюють ефект присутності на полонині. На верхніх поверхах будівель також створено природне середовище, з панорамним видом на прилеглий парк.

Цей проект був удостоєний золотого сертифікату LEED, завдяки використанню інтелектуальних технологій і сучасних технологічних систем. Але в той же час головним досягненням цього проекту є спроба переосмислити образ багатофункціонального комплексу, розташованого в діловому центрі сучасного мегаполісу і знайти компроміс між природним ландшафтом і урбанізованої міським середовищем. Це виразилося через взаємозв'язок сучасної міської архітектури і природного середовища, через формування і побудову тривимірної композиції будівель комплексу, обумовлених формуванням художнього образу архітектурного середовища (рис.4).

Відмінною ілюстрацією подібного підходу до рішення складних завдань стало будівництво штаб-квартири фонду у центрі Сіетла. Будівля загальною площею 83 000 м<sup>2</sup> по праву отримало оцінку «Платиновий» по сертифікації LEED та кілька нагород професіональних інженерно-будівельних асоціацій. При розробці проекту штаб-квартири Фонду Білла і Мелінди Гейтс концептуальними вимогами з боку замовника стали:

- максимально комфортний для перебування людей, рівень мікроклімату, акустичного та візуального комфорту;
- збереження екосистеми ділянки будівництва;
- екологічна стійкість будівельній у довгостроковій перспективі.

Штаб-квартира фонду представляє багатофункціональний адміністративно-діловий центр з офісами відкритого планування, кабінетами, переговорними кімнатами, атриумом, зоною громадського харчування та фітнес-клубом (рис.5.1-5.4).

При розробці архітектурно-планувальних рішень офісної частини будівель особлива увага приділялася необхідності забезпечити можливість неформальної взаємодії персоналу поза стаціонарних робочих місць. Керівництво підтримало розповсюджену думку про те, що подібна взаємодія співробітників створює більш вільне робоче середовище, що в кінцевому результаті позитивно впливає на загальний рівень продуктивності праці.

# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS



1



3

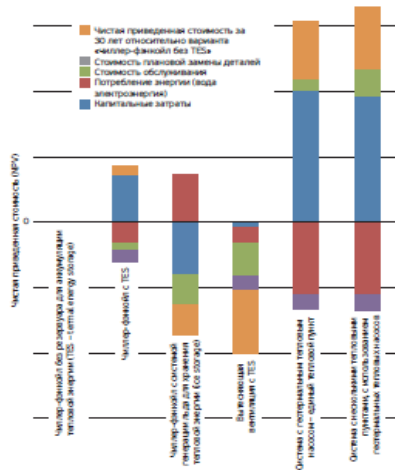


4

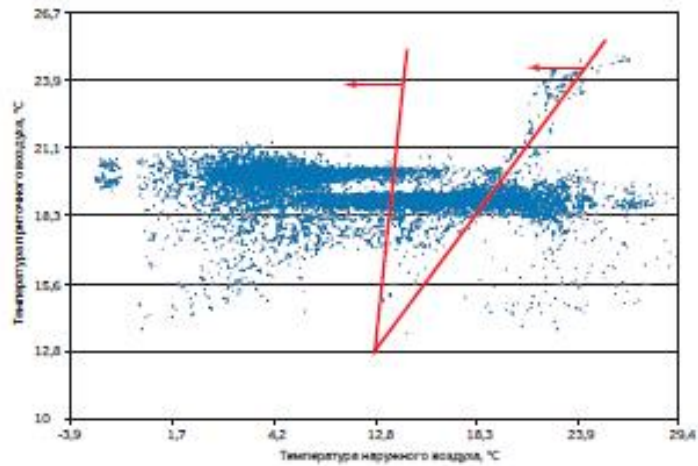
Рис. 5 -Місія Фонда Білла і Мелінди Гейтс. Сприяння покращенню якості життя людей у всьому світі через поширення передових технологій у медицині та освіті.

Проектом передбачено достатньо кількість офісів кабінетного типу, де співробітник у разі потреби може усамітнитися та сконцентруватися на виконанні свого завдання.

# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS



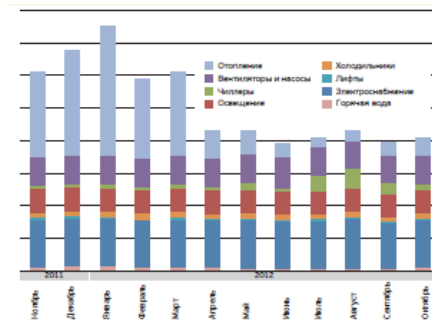
1 – прорахування вартості життєвого циклу системи кондиціонування (у перспективі на 30 років)



2 – показники температури зовнішнього та внутрішнього повітря за визначений період



4 - фасадне скління має коефіцієнт теплопровідності 0,32 Вт/(м•°C), що значно перевищує вимоги нормативних документів у Сіетлі. Крім цього, при виборі матеріалів скління враховувалася необхідність максимальної забезпеченості приміщень природним освітленням.



3 – структура енерго-використовування. Категорія «холодильники» враховує споживання енергії всього холодильного обладнання підприємств громадського харчування та безлічі вендингових апаратів, встановлених на території штаб-квартири. Споживання газу кухонним обладнанням становило надто малу для відображення у структурі величину – 0,48 кВт•год/м2.

Рис. 6 - Під час розробки проекту власник будівель враховував як капітальні витрати, а й вартість експлуатації у довгостроковій перспективі.

При розробці проекту власник будівель враховував не тільки капітальні витрати, а й вартість експлуатації у довгостроковій перспективі. Оцінка повної вартості життєвого циклу системи кондиціонування повітря за 30-річний період. Також, прораховувались показники температури зовнішнього та внутрішнього повітря за визначений період, енерго-використання, огорожувальні конструкції, системи холодопостачання, водопостачання і каналізація, індивідуальний контроль мікроклімату (рис.6).

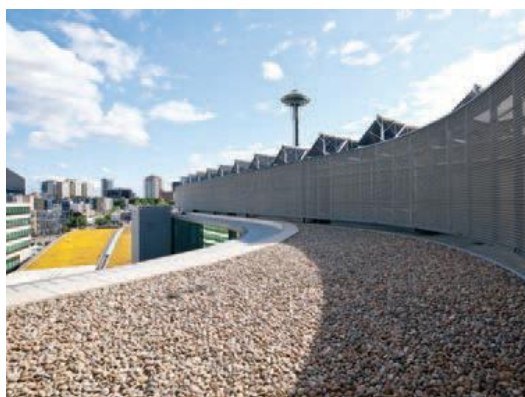
Високий відсоток скління фасаду (45 %) створює відмінні умови для візуального контакту співробітників із навколишнім середовищем та дозволяє

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

забезпечити природним освітленням 60% офісних приміщень. Управління системою штучного освітлення здійснюється і локально (вручну), і автоматично – за допомогою єдиної системи керування будівлею.

Усі офісні приміщення обладнані датчиками освітленості, що значно знижує енергоспоживання, а також, система штучного освітлення розроблена на використання високоефективних люмінесцентних ламп.

Майже половина потреби в енергії для потреб гарячого водопостачання покривається за рахунок сонячного колектора на даху будівлі. Ця опція була додана до проекту вже на етапі будівництва, щоб ще більше знизити споживання енергії із зовнішніх мереж і продемонструвати відданість фонду ідеї використання відновлюваних джерел енергії (рис.6).



1



2



3



4

Рис. 7 - Візуальний контакт із навколишнім простором.



Візуальний контакт із навколишнім простором забезпечує грамотний підхід до проектування архітектурного середовища як міста в цілому, так і середовища самої будівлі (рис. ). Ширина поверху складає 20 м: у будь-якій точці приміщення відстань від співробітника до найближчого вікна не перевищує 10 м. Більше того, система вікон, що відкриваються, значну частину часу забезпечує не тільки потребу у свіжому повітрі, але і контакт персоналу з навколишнім офісом простором (рис.7-8).



Рис. 8 - Візуальний контакт із навколишнім простором забезпечує грамотний підхід до проектування архітектурного середовища міста.

Упорядкована площа перед центральним входом дозволяє співробітникам фонду за бажання працювати і на відкритому повітрі. Відтворені ставки сприяли поверненню птахів на територію, яка раніше використовувалася як паркування (рис. 8). А резервуар для зберігання дощової води об'ємом 3800 л знаходиться безпосередньо під упорядкованою площею перед входом до будівлі (рис. 7.1). Основні елементи в обробці фасаду – вапняк, скло, алюміній, мідь – були обрані через низькі вимоги щодо їх обслуговування та довговічності. А навісний вентиляований фасад з високою часткою скління практично не потребує

обслуговування і дозволяє отримати відмінні показники природного освітлення у приміщеннях.

**Висновки:**

- Таким чином, екологічна архітектура базується на екологічному підході до проектування в системі «природа–людина–архітектурно-просторове середовище», де природа виступає першоджерелом, діюча людина – як споживач навколишнього середовища, і як його творець, а архітектурно-просторове середовище – як явище, що впливає на формування комфорту. При цьому формується гармонійний екологічний образ навколишнього середовища.

**Екологічне середовище набуває гармонійної якості при поєднанні високої оцінки всіх параметрів і критеріїв комфорту, як чисельних, так і художньо-естетичних, де гармонізація природного і антропогенного відбувається через єдність людини з навколишнім середовищем, через архітектурну композицію, яка розглядається як естетична цілісність, заснована на сприйнятті людиною цього середовища.**

- Можна констатувати, що екологічна регенерація урбанізованого середовища найбільших міст, зокрема регенерація територій великопанельного житлового будівництва, передбачає інтеграцію природних і антропогенних, як взаємодоповнюючих компонентів навколишнього середовища. Це виражається в створенні громадських екозон і екосистем в рамках розвиненого урбанізованого середовища, формуванні вузлів соціальної активності, як частини живої природи і комунікацій між ними - як сполучних структурних елементів цілого.

- Екологічна парадигма – «все пов'язано з усім» - це створення середовища для життєдіяльності суспільства за умови стійкого збалансованого підходу. Саме при ньому можна комплексно вирішити питання енергозбереження;

- Архітектура, як міждисциплінарна діяльність, здатна поєднати системно різно направлені вектори наукових досліджень у екологічній парадигмі

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

ще на етапі перед проектних рішень з узгодженням усієї низки проектних питань з усіма учасниками архітектурно-будівельного процесу;

- Інноваційні архітектурно-конструктивні заходи енергозбереження урбанізованого середовища – це інноваційні матеріали і технології, як в самих будівлях, що утворюють еко-середовище, так і в архітектурно-просторовому формоутворенні на засадах стійкого, збалансованого розвитку.

### **1.3 Complex binder based on industrial man-made waste**

At present, about 3 billion tons of binders are produced in the world, the main share of which is Portland cement. At the same time, about 400 million tons of conventional fuel are spent on its production, and emissions of CO<sub>2</sub> and dust into the environment amount to about 2.5 billion tons [42-45]. In connection with this, in recent years there has been a reorientation of the building materials industry towards concrete with reduced cement consumption. In the USA and Europe, these types of concrete include concrete in which cement consumption is reduced by 50-60%. This is achieved mainly through the use of mixed binders, in which part of the cement is replaced by fly ash or microsilica.

According to modern world trends, composite binders (composite cements, binders based on industrial waste) are becoming increasingly important, which must be considered as an alternative to traditional binders, and binder systems containing a limited amount of clinker [46-48].

The reserves of resource saving in the complex processing of raw materials and the use of waste are very significant. The capital investments required for the processing of secondary raw materials are approximately four times less than when obtaining products from primary raw materials [49-51]. Obviously, funds should be invested in waste-free technological processes that conserve raw materials and energy resources and at the same time ensure high product quality [52-53].

Of the industries that consume industrial waste, the construction materials industry is the most capacious, the share of raw materials in the cost of production reaches 50% or more. Many wastes are similar in their composition and properties to natural raw materials [54-56]. It has been established that the use of industrial waste allows to cover up to 40% of the construction needs in raw materials, as well as to reduce the costs of manufacturing building materials by 10-30% compared to their production from natural raw materials. In addition, new building materials with high technical and economic indicators can be obtained from industrial waste [57-60].

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

The accumulated scientific and practical experience of using industrial waste in Ukraine and abroad allows us to consider it as a valuable raw material for the production of construction materials [61-62]. All wastes are divided into two large groups, mineral and organic, the former have an advantage, as there are more of them, they are better studied and are of great importance for the production of building materials.

During the development of an approach to the selection of economically feasible directions for the utilization of industrial waste in the production of building materials, it is necessary to take into account: the initial state (chemical activity, dispersion and aggregate state); the choice of technology with minimal preparation and processing [63-64]. At the same time, it should be noted that the direction of disposal is chosen and justified by technologists, and the task of bringing it to condition and complying with the rules of storage should be entrusted to environmental and sanitary services. The main parameters characterizing any industrial waste are: - chemical and mineralogical composition; aggregate state; and their volume. To choose the direction of waste use, each type of waste must pass several levels of evaluation according to various criteria, taking into account the main parameters [65].

As practice shows, almost all basic building materials can be made from waste or waste in combination with natural mineral raw materials [66-67]. Almost all construction materials, products and structures used in the construction of residential and industrial buildings, agricultural facilities, road structures, etc. can be made from large-tonnage waste of energy and chemical enterprises (phosphogypsum, titanium gypsum, fluorogypsum, citrogypsum, desulphogypsum). Therefore, the guide taken today in Ukraine for the production of building materials, products and structures from industrial waste and local materials promises significant benefits [68].

Analysis of scientific research and practical experience of using ash and slag waste indicates the economic feasibility of using TPP waste in the production of cement and complex multicomponent binder. The amount of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  significantly affects the basic physical and chemical properties of construction products. As a result of the conducted research, it was established that to improve the

physico-chemical and physico-mechanical characteristics of construction products, it is most expedient to use fly ash of the Ladyzhynskaya TPP [69]. According to its chemical composition, it belongs to the main evils, which will have a positive effect on the processes of structure formation. Table 1 shows the chemical composition of the fly ash of Ladyzhynskaya TPP.

Table 1

**Chemical composition of fly ash of Ladyzhynskaya TPP**

The content of oxides	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Π.Π
Ash slag Ladyzhinskaya TPP	49,26	23,00	19,35	3,53	1,79	2,11	0,40	0,10	1,40
Ash disposal of Ladyzhynska TPP	52,1	23,1	15,6	3,16	1,08	0,4	1,2	0,57	0,7

It should be taken into account that an excess amount of ash in the composition of ash-containing materials leads to an increase in porosity and a decrease in the rate of curing with time, and worsens performance characteristics, in particular, frost and corrosion resistance. To prevent the occurrence of such undesirable processes, complex additives of polyfunctional action are introduced into the composition of the concrete mixture, which determine not only the kinetics of strength development, but also form the corresponding structure of the material, which significantly affects the physical and mechanical properties and durability of the resulting artificial stone [70].

The amount of ash used in the complex binder concrete mixture can be increased by activating it. The choice of activation method depends on the chemical and mineralogical composition of the ash, the method of its production, as well as on the binder system. Since ash performs several functions when introduced into the concrete mixture, its amount can be increased both through the use of various types of activation and through multifunctionality. Moreover, the introduction of ash not only into the composition of the binder, but also as a microfiller and fine aggregate will contribute to the formation of a stronger contact zone. The authors in works [ 71-72] established the relationship between the types of fuel ash and slag, the methods of their activation and the possibilities of their use as part of building materials and products.

The use of mechanical, chemical and complex activation of ash slag waste makes it possible to produce materials with improved mechanical characteristics and high operational properties, and the use of certain types of activation of ash slag waste affects the change in the phase composition of new formations, which can positively affect the durability of the resulting construction mortars and concretes [73-76].

The authors in their works [77-79] developed the principle of composite construction of ash-filled artificial materials, which allow to increase the amount of ash-slag component in the concrete mixture without deteriorating the properties of the synthesized artificial stone, for this it is necessary:

- taking into account the composition and structure of ash and slag waste and choosing the appropriate method of ash activation, which causes a change in both the physical state and the chemical composition of the raw material;
- mandatory introduction of plasticizers or complex additives into the composition of ash-filled binding systems, containing, in addition to the plasticizer, an active microsilica or aluminosilicate component, which prevents the formation of secondary ettringite in the later stages of hardening;
- the choice of the type of plasticizing additive should be carried out taking into account the chemical and mineralogical composition of ash and modifying mineral additives.

Phosphogypsum waste is a by-product in the production of phosphoric acid by the extraction method. Depending on the temperature and concentration conditions for the decomposition of phosphate raw materials, the solid phase of calcium sulfate can be represented by one of three forms: dihydrate, hemihydrate or anhydrite. Phosphogypsum waste can be classified as gypsum raw material, as it consists of 80-95% calcium sulfate. The chemical composition of phosphogypsum of Vinnytsia VO "Khimprom" is given in Table 2.

Table 2

**Chemical composition of phosphogypsums of Khimprom**

The main components	Content, % by mass	
	phosphohypsodihydrate	phosphogypsum hemihydrate
General P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5-1.5	1.2-1.5
Water soluble P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1-0.7	0.7-2.0
CaO	22-23	25-28
SO <sub>3</sub>	38-39	45-47
F	0.1-0.2	1.2-1.5
Water is hygroscopic	21-29	18-22
Crystalline water	19-21	5,5-6,5

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

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

Remains of free phosphoric and sulfuric acid, solutions of monocalcium phosphate, dicalcium phosphate, and others present in the composition of phosphogypsum slow down hardening and reduce the strength of cement binders [80-90]. The emission of fluorine gases during heat treatment complicates the production technology of building materials. Increased acidity of the raw material leads to equipment corrosion. Newly formed sulfates of sodium, potassium and calcium tend to stand out on the surface of the products when they dry, in the form of precipitates. Therefore, the use of unrefined phosphogypsum makes it difficult to obtain a gypsum binder with satisfactory mechanical properties. It is possible to reduce the concentration of acid residues by washing. Preliminary washing of phosphogypsum



raw materials requires additional costs and leads to new types of waste - acidic effluents, which must be disposed of.

In our opinion, the most effective way to use phosphogypsum in construction is to develop and obtain clinker-free phosphate, metal phosphate and metal ash phosphate binders. For this type of binder, it is not necessary to spend significant energy resources and perform preliminary cleaning of phosphogypsum from harmful substances.

The main process in the synthesis of a phosphate binder is the dissolution of oxidizing compounds in phosphoric acids. The regulation of this process consists in choosing the concentration of the acid, the chemical composition of the compound containing the cation, its optimal solubility modification, as well as the method of its introduction into the reaction mixture and the temperature regime of the synthesis. In addition, the speed of the interaction processes can be regulated by changing the reactivity of the filler by compaction, thickening of its parts, using dispersions of oxidized metal filler, passivating components that react excessively actively [82-83].

The intensity of the interaction of components in phosphate systems of the "oxide-acid" type depends on the charge of the cation, the ionic radius and the electronic configuration. The curing time of such systems can be adjusted by using different compounds. To ensure the optimal temperature regime of a particular reaction, it is advisable to combine different oxides in one mixture, for example, CaO and FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, etc. [84-86].

Among the iron-containing dispersed wastes that must be used to create metal phosphate and metal ash phosphate binders are metal slurries from ball bearing production and red bauxite sludge.

Sludge of ball bearing production is practically not processed due to the high dispersion and content of lubricants and coolants. They are formed during the production of bearings from ShKh-15 steel. The percentage content of iron is 86.3 - 87.96%. The average size of sludge particles is  $2 \times 10^{-5}$  m. The specific surface of this powder reaches  $0.5 \cdot 2 \times 10^3$  m<sup>2</sup>/kg. When sludge is stored in open dumps, deep oxidation of iron and drying of aqueous components of lubricating and cooling substances occur. The oxide layer consists of hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), justite (a solution of

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in FeO), lapidocrite (FeO(OH)) [87-91]. The chemical composition of ShKH-15 steel according to the results of X-ray fluorescence analysis performed at the Institute of Chemical Engineering of the Academy of Sciences of Ukraine is given in Table 3.

Table 3

**Chemical composition of ShKh-15 steel sludge after heat treatment  
according to the results of X-ray analysis**

Types of sludge	Content of elements %							
	C	O	Cr	Mn	Si	S	P	Fe i iH.
Sludge after treatment	1,34	2,14	1,06	0,25	0,31	0,06	<0,03	oct.
Sawing sludge	1,72	3,51	0,64	0,25	0,41	0,075	<0,03	oct.

The second important dispersed iron-containing waste for the creation of metal phosphate and metal ash phosphate binder is red bauxite slime. Bauxite red mud is formed as a by-product of processing during the production of aluminum from bauxite. The composition of the sludge depends on the bauxite being processed and the method of its processing. A characteristic feature of bauxite slurries obtained by Bayer's method is a high concentration of iron and aluminum oxides. The mineralogical composition of Bayer muds is mainly represented by iron compounds: hematite, as well as hydrogarnets and sodium hydroaluminosilicates.

The red sludge of individual alumina plants was studied as an additive that increases the mechanical strength of concrete. However, comprehensive studies of bauxite slurries in the composition of metal ash phosphate binder were not conducted.

Table 4

**The content of oxides in the composition of red mud**

Oxides	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Mass fraction of oxides, %	9,5-11,1	4,4-5,6	17,0-19,0	39,0-43,0	7,6-9,5	6,2-6,9	0,2-0,3	0,2-0,25

The high content of aluminum and iron oxides (Table 4) and the limited amount of calcium oxides do not allow it to be considered as the main raw material for binders. However, it can be used as an active additive for metal ash phosphate binder, taking into account its complex nature of influence on physical and mechanical properties.

Taking into account the above theoretical rationale for the use of ash sludge waste, phosphogypsum, metal sludge, the authors obtained an improved complex clinker-free metal ash phosphate binder based on phosphogypsum waste, metal sludge from bearing production, bauxite sludge and fly ash. Table 5 shows the physical and mechanical characteristics of samples of the complex metal ash phosphate binder.

Table 5

**Physico-mechanical characteristics of samples of complex metal ash phosphate binder**

Composition	Average density of samples, kg/m <sup>3</sup>	Compressive strength limit, MPa
Phosphogypsum + Recovered metal sludge of the Vinnytsia Bearing Plant	1875	6,3
Phosphogypsum + Recovered metal sludge + Fly ash	1920	5,5
Phosphogypsum + Recovered metal sludge + Red bauxite sludge	1980	6,8
Phosphogypsum + Recovered metal sludge + Fly ash + Red bauxite sludge	1970	7,2

Such a complex binder can be used for the production of heat-resistant concrete. As an oxide component of the binder, it is most expedient to use iron-containing wastes of the metalworking industry, which are finely dispersed metal sludge and red bauxite sludge with a high content of iron and aluminum oxides.

The obtained positive results of research on the physical and mechanical properties of the samples confirm the feasibility of continuing further scientific research. In particular, to increase the strength and improve the intensification of hardening, it is envisaged to add natural mineral additives to the composition of the metal-alloy phosphate binder mixtures. After optimizing the recipe and technological factors of the complex clinker-free binder, it is planned to study the special properties of the products obtained on the basis of such a binder.

## **1.4 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.

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

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 [92].

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 [93].

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 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.

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

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" [94].

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 [95].

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

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 [95].

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 [94].

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) [97, 98].

***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 [92]:

- 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 [99, 100]. 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 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 [101, 102].

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) [93]. Involvement of representatives of all interested parties in the organization is necessary for the formation of a common vision for the implementation of VIM 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 [103].

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.

**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 [104].

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 [92].

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, 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 VIM 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.

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

- **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.

## **1.5 Classification and calculation of discharge capacity of broad-crested weirs**

Broad-crested weirs (BCW) — are simple hydraulic structures that implement an important role in hydraulic engineering, especially in water resources management and aquatic environment protection. They are important hydro-technical structures designed to regulate water levels in rivers, reservoirs, and other water bodies, ensure public safety, and ensure water regimes for water supply, energy, shipping, and other sectors of the economy. For example, rain grates inlet. Their discharge capacity in the non-pressurized mode is calculated as broad-crested weirs in the work of Leandro [112], Lopes [113], Rubinato [115].

Spillways are structures that block the flow but allow a liquid with a free surface through its upper face and are designed to drain the liquid. Spillways also include large openings, if the flowing liquid does not wet the upper edge, and many other engineering structures, for example, small bridges, spillway dams, non-pressure culverts in road embankments, canal intake structures, and some types of spillways (spills with a thin wall) are widely used as accurate devices for measuring flow in hydraulic and hydro-technical laboratories and in a number of other cases.

The advantages of using broad-crested weirs include simplicity of design and cost-effective installation, high strength, and long service life. In some cases, broad-crested weirs is a convenient tool for measuring volumetric water flow velocity in open channels as in the work of Badr & Mowla [105], Zhuk et al.,[118].

The study of wide weir spillways is important in hydraulic engineering because such spillways are used to reduce excess water, conserve water resources, and prevent floods. Studying the flooded mode of operation of spillways with a wide threshold makes it possible to understand how the system behaves in different conditions and increases the effectiveness of such systems in practice.

The study of the dynamics of fluid movement through a flooded spillway, including the calculation of flow, pressures and velocity of fluid movement, is

important to ensure the safety and efficiency of hydraulic structures such as dams, canals and culverts.

In addition, research on wide-bed spillways is important for developing new technologies and improving existing systems to conserve water resources and reduce the negative impact of floods on human life and property.

The spillway separates the flow into two parts: the upstream - the flow before the spillway and the downstream - the flow behind the spillway (figure 1).

The upper end of the broad-crested weir wall is called the crest of the spillway.

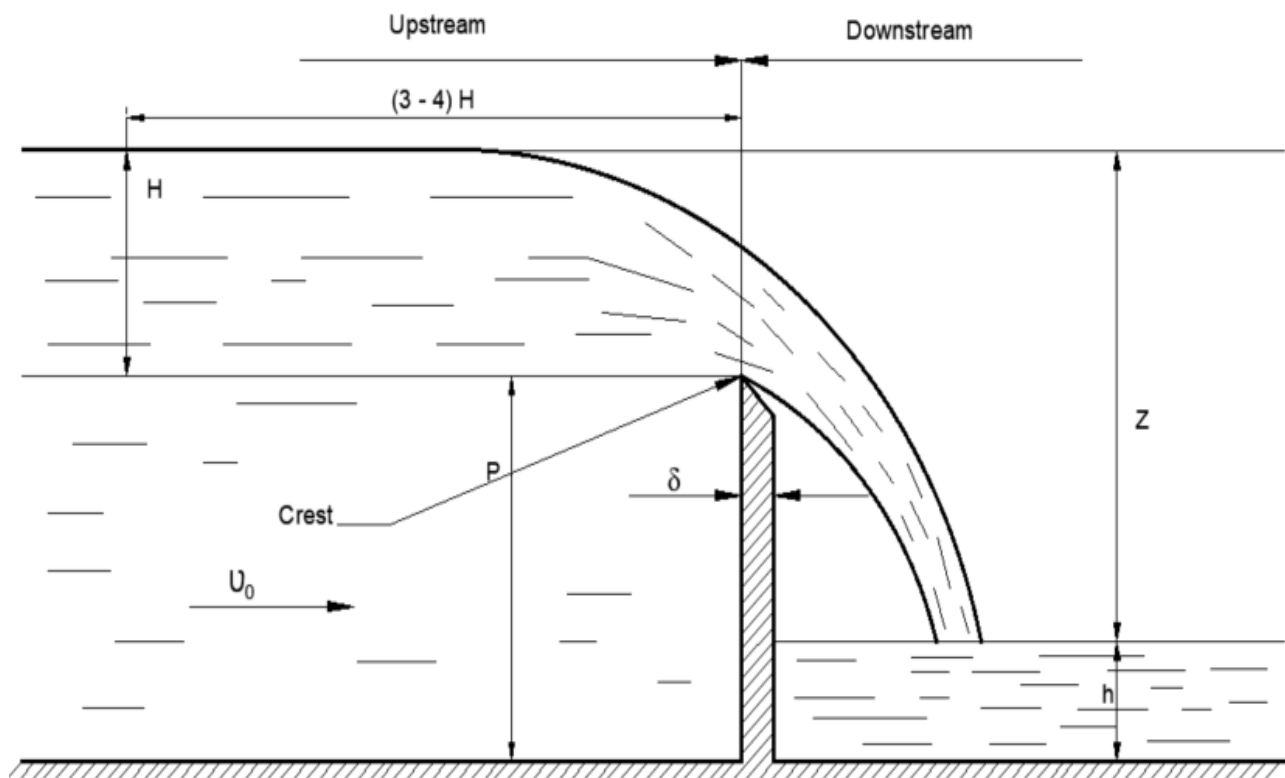


Fig. 1. Spillway.

The depth of the liquid above the crest of the broad-crested weir, measured where the level has not yet decreased, is called the static pressure on the spillway and is denoted by  $H$ . The drop in the liquid level in front of the spillway begins at a distance of  $3 - 4 H$  from its crest. The excess of the crest of the spillway above the bottom of the stream upstream is called the height of the weir threshold and is denoted by  $P$ . The difference in liquid levels upstream and downstream is denoted by  $Z$ .  $v_0$  — is the approach speed, i.e. the average speed before the spillway;  $\delta$  — is the thickness of the spillway wall.

Spillways are classified according to the following main features:

- according to the outline of the wall profile:
  - a) **with a thin wall** (or weirs with a sharp edge) (figure 1), when the liquid overflows through a thin (sharp) transverse obstacle. When the wall thickness is  $\delta \leq 0.67 N$ , it is believed that the wall thickness does not affect the nature of the flowing weir;
  - b) **broad-crested weir** (figure 2), when the wall blocking the flow has a thickness of  $8H \geq \delta > 2H$ , at which a parallel jet flow is observed at the threshold;

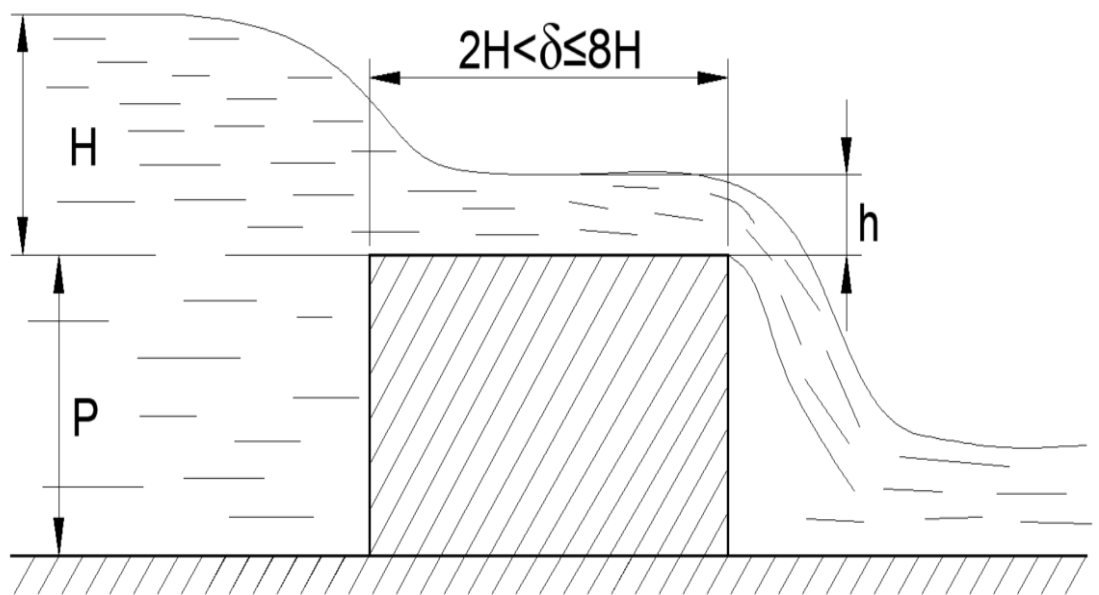


Fig. 2. Broad-crested weir.

- c) **ogee-crested spillway** (figure 3), when the liquid overflows through a thick curvilinear wall  $2H \geq \delta > 0.67H$ , and the outline of the bottom boundary of such a spillway is close to the shape of a stream;

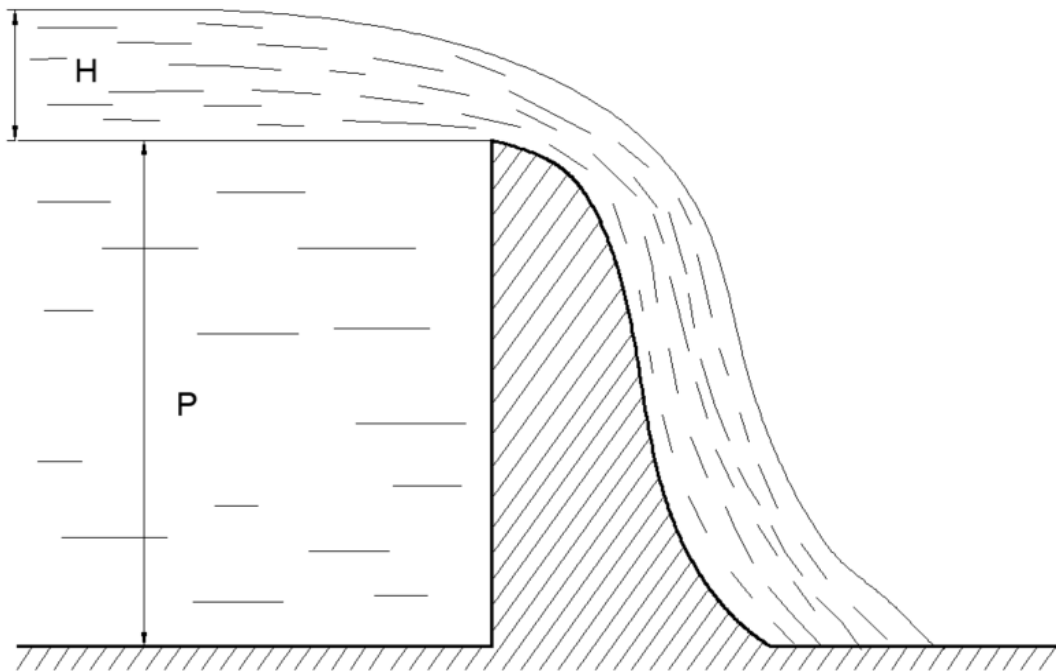


Fig. 3. Ogee-crested spillway

It is the overflow type spillway which has a controlled weir and is ogee-shaped(S-shaped) in profile. It is shaped such that it follows the lower surface of a horizontal jet emerging from a sharp crested weir. The pressure at the ogee crest remains atmospheric at the design head. At lower head, the pressure on the ogee crest becomes positive which results into the backwater effect and this backwater effect reduces the discharge while at the higher head pressure on the crest becomes negative causing backwater effect to increase the discharge.

- *according to the shape of the drain opening:* trapezoidal, triangular and rectangular holes are made in the spillway wall (figure 4).

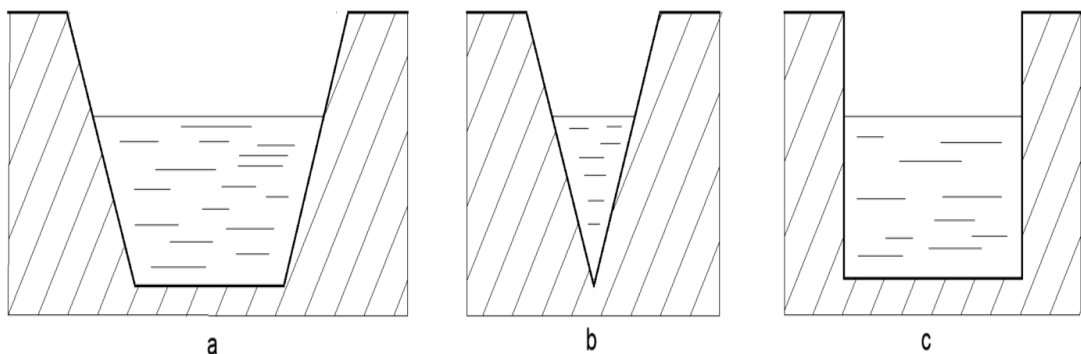


Fig. 4. The shape of the cutout of the drain hole.



- according to the location of the threshold: **spillways are straight in plan** (figure 5, a), when the weir threshold is perpendicular to the direction of the flow in the upstream, **oblique** - the threshold is located at an angle to the flow (figure 5, b), **lateral** - the threshold is located parallel to the direction of the flow (figure 5, c)

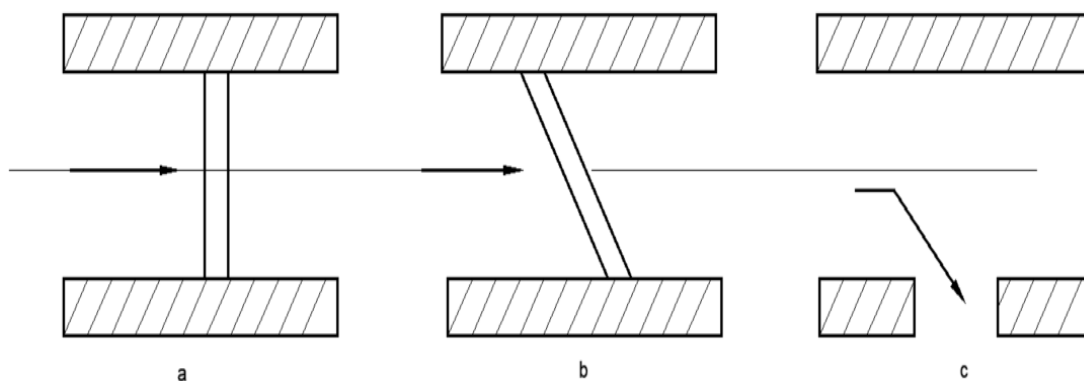


Fig. 5. The location of the threshold in spillways in plan: a - straight lines; b - oblique; c - lateral.

- according to the conditions of lateral flow compression: spillways are divided into spillways without lateral compression when the channel width and spillway width are equal ( $b=B$ ) and spillways with lateral compression when the width of the spillway is less than the width of the channel on which the spillway is located, i.e.  $b < B$  (figure 6).

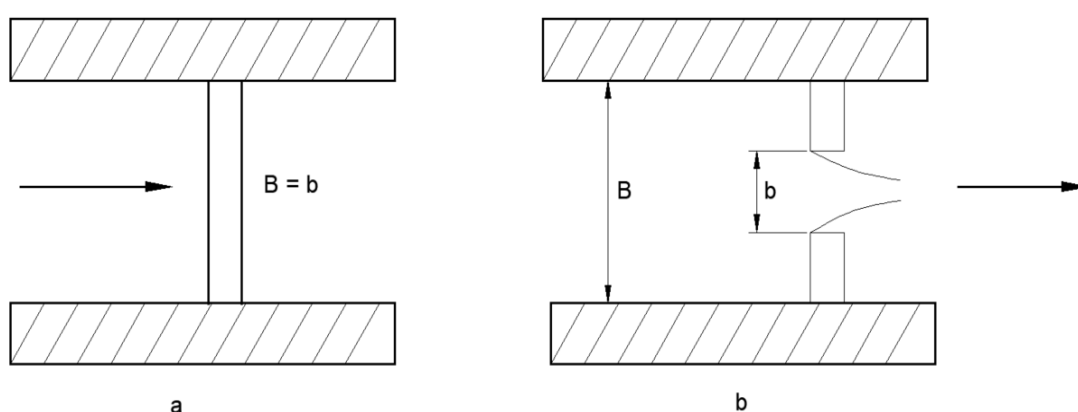


Fig. 6. Spillway a - without lateral compression; b - with lateral compression

A broad-crested weir is a spillway that has a horizontal threshold, the length of which along the stream (wall thickness  $\delta$ ) is within  $(2 / 3) H < \delta < (8 / 10) H$

(figure 7). At the same time, the nature of the flow movement on such a spillway changes smoothly, close to a parallel jet with hydrostatic pressure distribution.

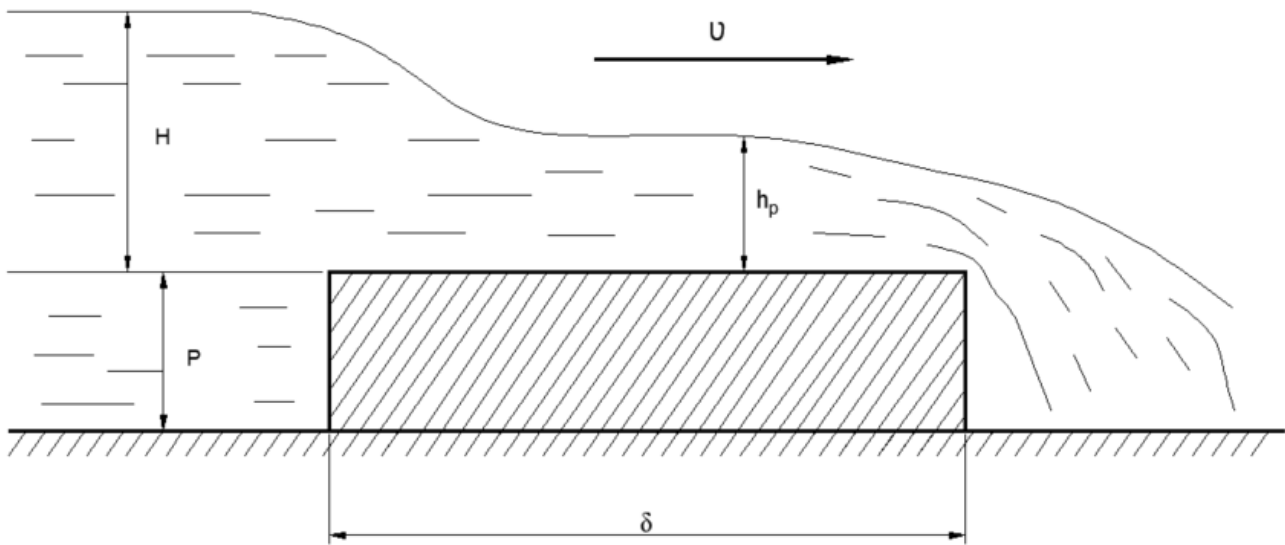


Fig. 7. Not flooded broad-crested weir.

Denoted by  $H$  is the depth of the liquid above the crest of the broad-crested weir, measured where the level has not yet decreased, is called the static pressure on the spillway. The drop in the liquid level in front of the spillway begins at a distance of  $3 - 4 H$  from its crest.

The most difficult factor affecting BCW throughput is the flow rate. A review of the literature shows that BCW flow rate estimation methods are generally based on two main approaches. When, the BCW discharge coefficient is considered only as a function of the relative height of the upstream reservoir wall (Konstantinov & Hizha [110]; Rekomendatsii [114]). On the other hand, most European countries use a different approach, which is based on the assumption that the BCW flow rate depends only on the relative length of the sill and is not a function of the wall height (Hager & Schwalt [108]; Govinda Rao & Muralidhar [106]; Jalil et al. [109]; Salmasi et al. [116]; Guven et al. [107]; Kulkarni et al. [111]; Zachoval et al. [117]).

The discharge capacity of the broad-crested weir is determined by various modifications of the flow equation through the BCW. The structure of all remains similar, it differs only in the approach to determining the parameters that affect the bandwidth.

$$Q = mb\sqrt{2gH_0^{3/2}}$$

where  $m$  – the discharge coefficient of rectangular sharp-edged BCW;  $b$  – width of the weir;  $H_0$  – total head on the weir, which is found as a sum of geometric and velocity heads:

$$H_0 = H + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

where  $H$  – geometric head of weir;  $\alpha$  – kinetic energy factor;  $V$  – average velocity on the upstream side of the weir.

$$V = \frac{Q}{b(P + H)}$$

where  $P$  – the height on the upstream side of the weir.

A review of scientific works shows that there are still a number of questions regarding the reliability of the determination of the flow coefficient for BCW with different ratios of spillway length to height (Hager & Schwalt [108]; Govinda Rao & Muralidhar [106]; Jalil et al. [109]; Salmasi et al. [116]; Guven et al. [107]; Kulkarni et al. [111]; Zachoval et al. [117])

Like other types of spillways, broad-crested weirs can be not flooded or flooded. Depending on the combination of the falling jet with the water level behind the spillway, the latter can be not flooded (figure 7) or flooded (figure 8).

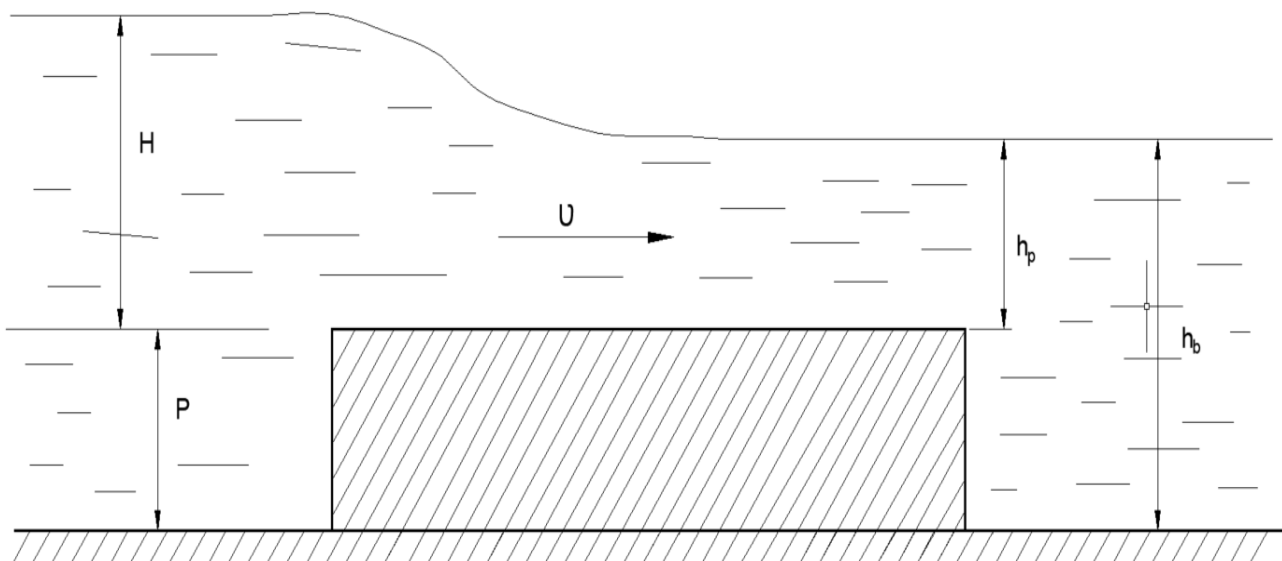


Fig. 8. Flooded broad-crested weir.

An not flooded spillway with a wide weir has two drops of the free flow surface: at the beginning and at the end of the threshold. It should be noted that an not flooded spillway with a wide threshold at the end of it sets the depth  $h_p$ , namely, while the level the downstream  $h_b$  will not exceed the water level at the end spillway. Flooding will not affect the outflow of liquid through the spillway and, accordingly, the flow rate.

With a flooded spillway, the flow rate is determined by the formula.

$$Q = \varphi b h_p \sqrt{2g(H_0 - h)}$$

where  $\varphi$  – is the speed coefficient of the flooded spillway (for a threshold without rounding of the inlet edge);  $b$  – width of the weir;  $h_p$  – depth of flooding;  $h$  – depth of water at the threshold (approximately it can be considered constant along the length of the spillway). Water depth at the threshold of a flooded spillway  $h = h_p$ .

As conclusion, spillways with a wide threshold play an important role in hydraulic engineering, especially in water resources management and protection of the aquatic environment. They are important hydro-technical structures designed to regulate water levels in rivers, reservoirs and other water bodies, ensure public safety, eliminate the consequences of floods, and ensure the water regime for water supply, energy, shipping, and other sectors of the economy. One of the main possibilities of spillways with a wide threshold is to provide regulation of water levels in rivers. This allows for to reduction of the risk of floods by controlling the water regime in the river basin. Thanks to spillways with a wide threshold, it is possible to influence the distribution of water in the river, ensure appropriate water levels at different times of the year, and regulate the water regime in ensuring water supply, energy, shipping, and other sectors of the economy.

In addition, spillways with a wide threshold can be used to control the energy regime of water bodies. The use of special hydraulic units in spillways allows you to obtain electricity by using the potential energy of water when it is poured from the spillway. It can be an important source of renewable energy, helps to ensure the stability of the energy supply and reduce emissions of harmful substances in the process of electricity production.

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

Consequently, spillways with a wide threshold play an important role in hydraulic engineering, providing regulation of the water regime, flood protection, energy production, and development of various economic sectors. They can also have socio-economic significance, ensuring the development of regions.

## **1.6 Overview of steel space truss structures**

Large-span structures provide long spans without supports with minimal use of steel, making them highly efficient and aesthetically pleasing. These structures use in the construction of airports, exhibition centers, gyms, warehouses and other large buildings. Structures in architecture have become increasingly popular in recent years. They allow you to create large and impressive structures that can become real symbols of the city. However, the development of such buildings requires extensive knowledge and experience in architecture and engineering.

Structural steel constructions use in construction with the greatest efficiency and endurance compared to other structures. Steel structures are usually made of sheet metal or various profile elements, such as beams, columns, slings and others. These structures provide high strength and stiffness, which makes them ideal for the construction of large industrial and commercial buildings.

These technologies use to create large span structures and include innovative materials and welding methods, metal components, and various construction technologies. An important step in the development of such structures is to take into account various factors, such as weight, thermal effects, dynamic loads and other factors.

Structural engineers are often faced with the challenges of ensuring safety and reliability. These structures are usually large in size and have high loads, so they have to be constructed in a way that ensures stability and strength.

### **Benefits of using large-span steel structures:**

- The use of large-span steel structures is due to their high strength and resistance to loads. These structures can provide sufficient strength to withstand heavy loads such as wind, snow, rain, as well as any static loads that occur during the operation of the building;
- Flexibility and assemblability. Due to their large size and spatial structure, such structures can provide flexibility in design, allowing for more options in terms of

layout and space organization. In addition, large-span steel structures can be quickly assembled, which reduces construction time and costs;

- Steel structures have a long service life and minimal maintenance requirements, which reduces the cost of maintaining buildings. In addition, steel structures can be reused or recycled at the end of their life cycle, which ensures that steel structures meet environmental protection requirements and increase their resistance to destruction due to dangerous conditions;
- Low construction height, which is approximately half that of classical steel structures;
- The possibility of laying communications in the height of the structure;
- Ability to be reconstructed and modified. If the size or shape of the building needs to be changed, large-span steel structures can be easily modified, which reduces the cost of constructing new buildings and saves time.

**Disadvantages of large-span steel structures:**

- Construction cost. It can be quite high, depending on the size and complexity of the structure. In addition, very high quality and safety standards must be met in the design and construction of such structures;
- The need for specialized equipment and skilled labor for the assembly and installation of structures, which can be quite expensive and complicated.

**For demonstration purposes of the capabilities of the space truss structures,** a unique existing building was considered, specifically Beijing Airport, built for the 2008 Olympics by Foster + Partners, is located 20 km northeast of the center of Beijing. It was designed to represent popular in traditional Chinese culture dragon. Despite taking inspiration from the recognizable folk tradition architecture is combined with high-tech geometry - intersections of straight lines, symmetry of light and reflection. In order to create such shape steel space structure was used. The Applied R+D department used specialized software to generate the geometry for the spaceframe's roof and facade.

Information, photos and construction schemes obtained via an open link [141,142].



Figure 1. Bird flight view of the building

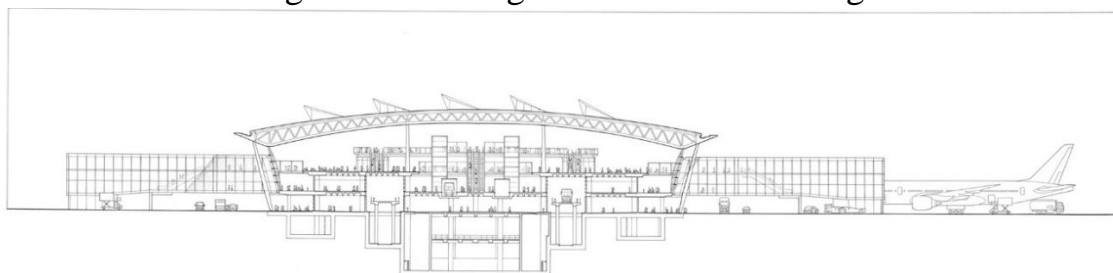


Figure 2. Main sections of the airport

The rigidity of the structure in both directions is provided by a steel space frame made of beams, joints and braces and supporting steel trusses. (Figure 3).

The building incorporates a number of passive environmental design principles, such as south-east facing skylights that maximize heat gain from the morning sun and an integrated environment-control system that reduces energy consumption.



Figure 3. General view of structures and interior



## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

Steel space frames with triangular lights and painted metal decking make up the roof. As people approach toward the gates and airplane berths, it curves, rising in the center to create an elevated central space and tapers towards the outside of the structure to create sections.



Figure 4. Supporting steel trusses



Figure 5. Construction photos

The review of the structure of Beijing Airport shows the possibilities of using such structures, which certainly deserves research and further improvement.

In previous years, research on large-span structures was aimed at improving their efficiency, reliability and reducing construction costs. Links to some of these studies are provided in the literature references.

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

One of the most important aspects concerns the materials used in the structure. Studies show that the use of high-quality steel reduces the weight of the structure and ensures its high strength and stability. In addition, studies have shown that the use of reinforced concrete as a material for structural elements takes longer and is more expensive to produce than steel.

Also important to note are studies related to the development of new methods for designing and optimizing large-span structures. The use of computer modeling and analysis makes it possible to determine the optimal parameters for each structure with millimeter accuracy. This helps to reduce construction costs and shorten project development time.

Research into the safety and stability of large-span structures is also important. Because these structures are large and heavy, they can be destroyed during earthquakes, fires, and other disasters. Researchers are actively working to develop new technologies and methods to improve the stability and safety of steel space truss structures.

The design of large-span structures is a complex process that requires consideration of many factors, such as loads, materials, geometry, and other technical characteristics.

For a visual demonstration of the work of the steel structural construction, a model of the structure with the size of 48 x 48 m, height of 2.4 m, cell size of 4.8 x 4.8 m was made.

Figure 6 shows a plan of the structural design under consideration, and figure 7 – 3D model.

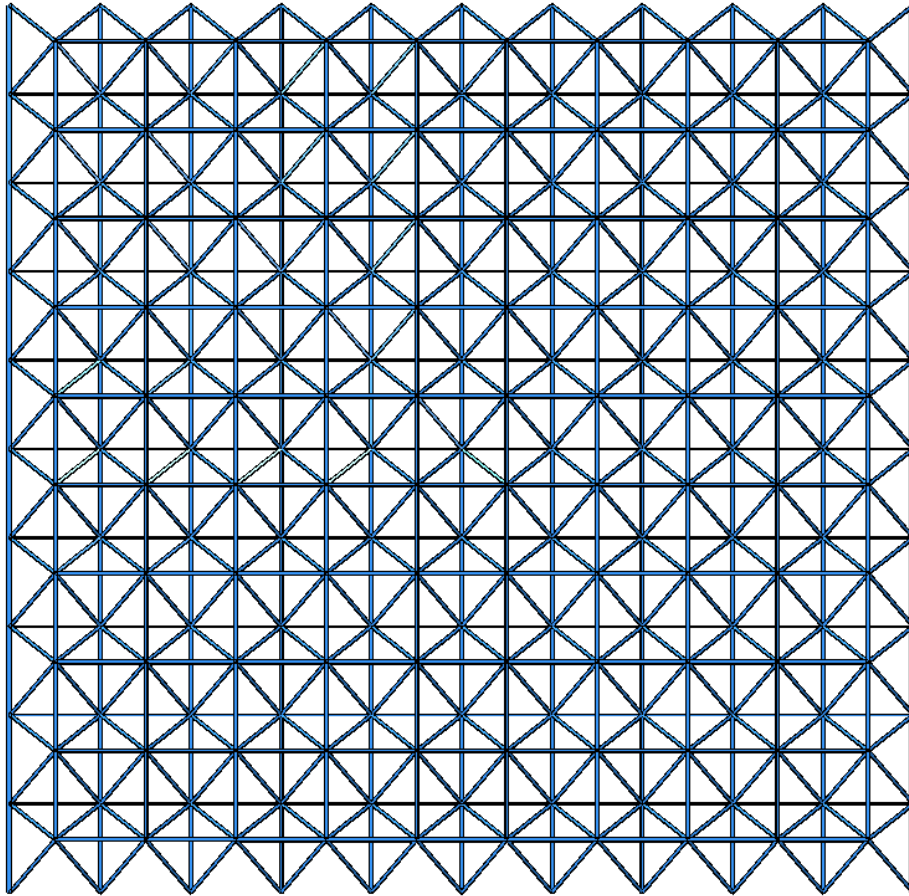


Figure 6. Plan of the structural construction.

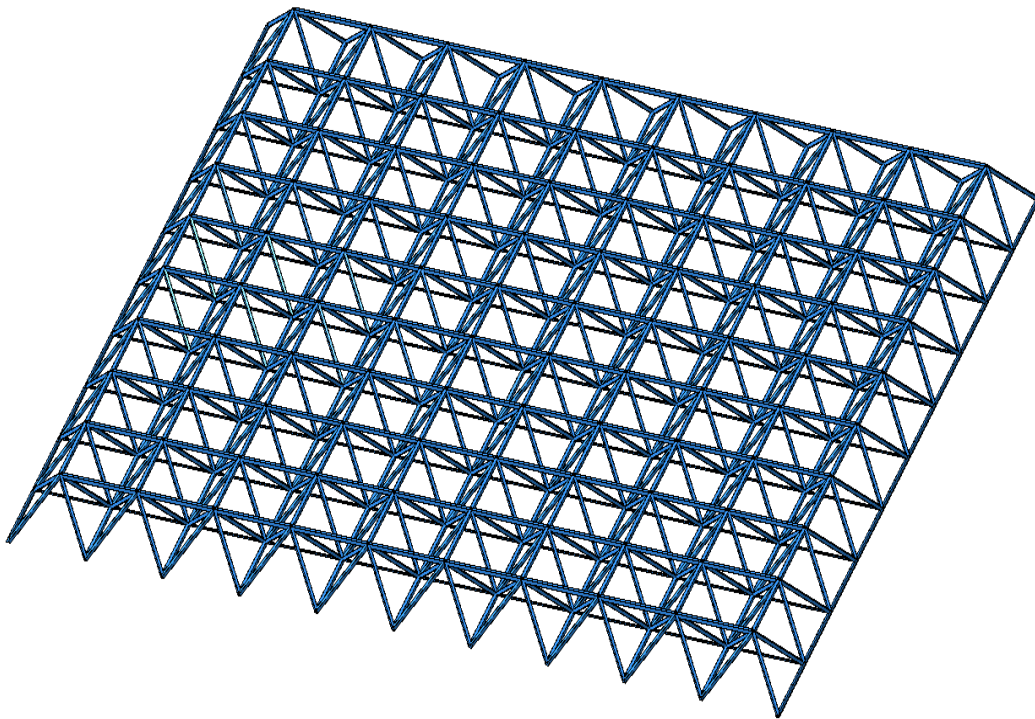


Figure 7. 3D model of the structural construction.

# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

The load applied to the upper belts of the structure was collected taking into account that the uniformly distributed load was assumed to be 3 kN/m<sup>2</sup>.

In Figure 8, you can see the nature of the system's vertical movements.

1. Загруженности 1 [1. Основная задача, С1. Основная задача, D1. Основная задача]  
Мозаика перемещений по Z(G)  
Одним из размеров - мм

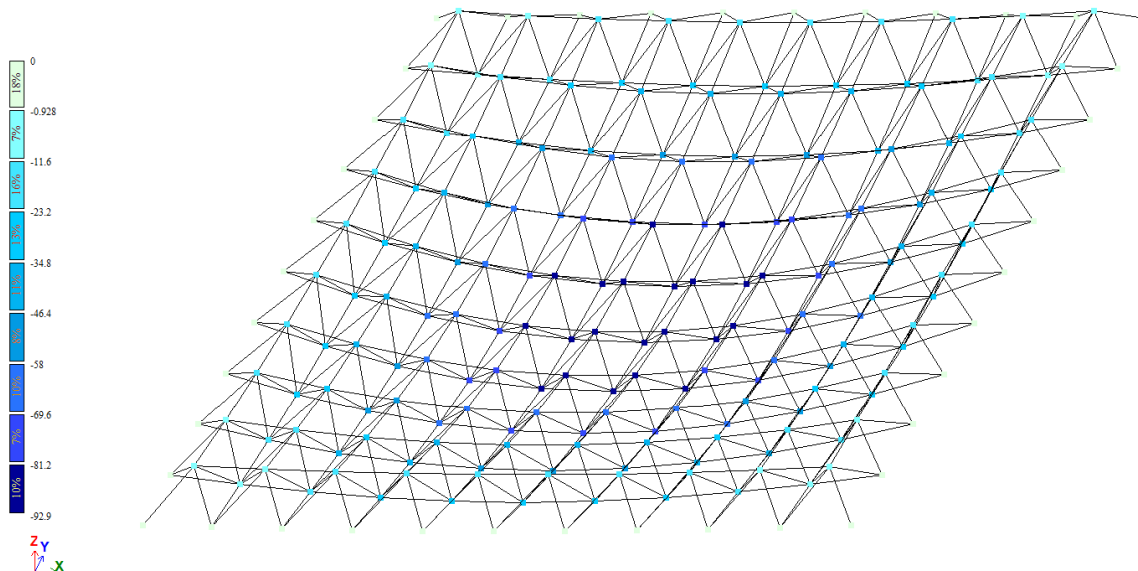


Figure 8. 3D model of the structural construction.

The maximum displacement was 93 mm, which, with a distance of 48 m between the supports, complies with current regulatory documents.

Figure 9 shows the distribution of longitudinal forces in the rods of the structure.

1. Загруженности 1 [1. Основная задача, С1. Основная задача, D1. Основная задача]  
Мозаика N  
Одним из размеров - т

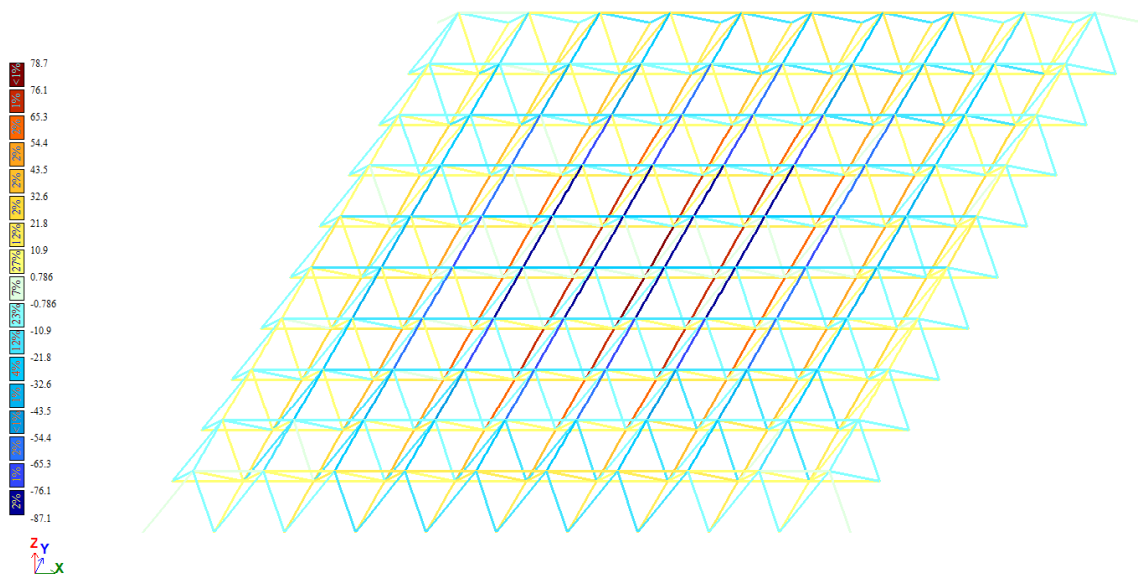


Figure 9. Distribution of longitudinal forces in the rods of the structure.

Figure 10 shows the density of the distribution of deformation potential energy in the scheme, which is being considered.

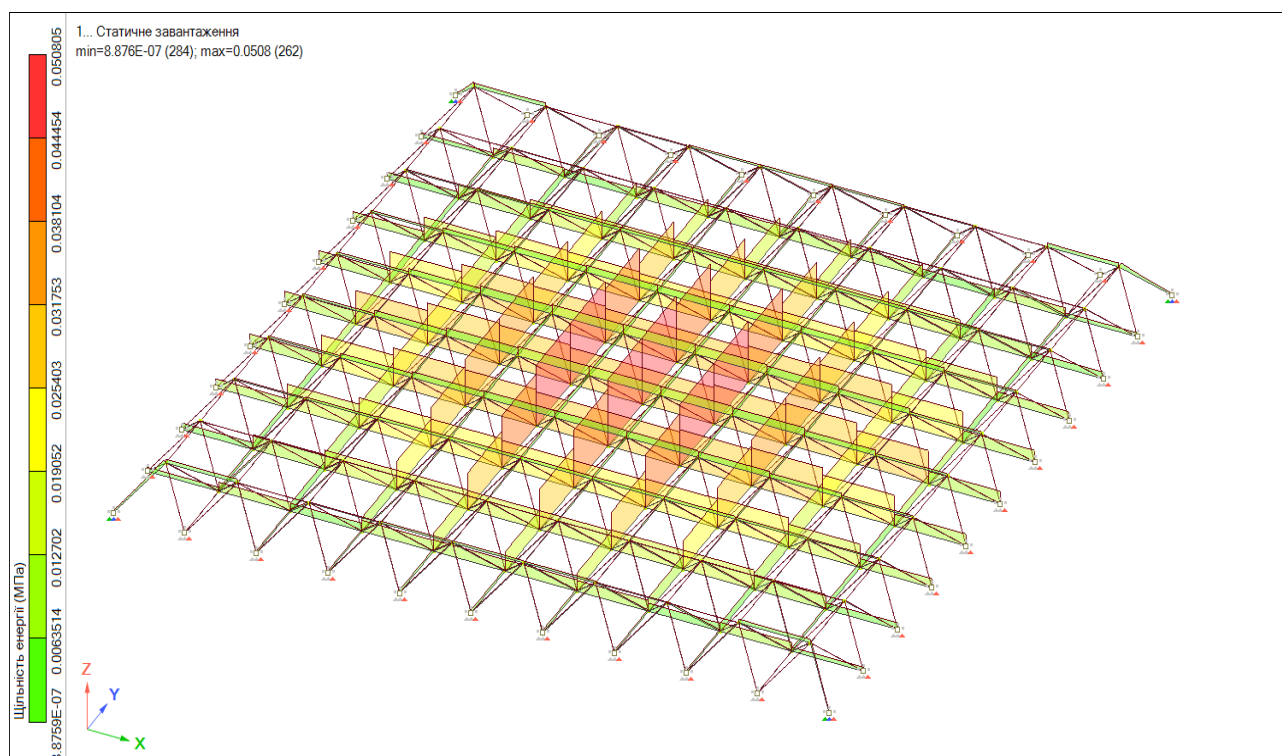


Figure 10. The density of the distribution of deformation potential energy in the scheme.

As can be seen from Figure 10, in the places of the highest tensions, the density of the distribution of deformation potential energy is close to uniform, which indicates the efficiency of the use of structural structures.

The study of structural steel structures is carried out using numerous methods and tools, such as computer modeling and stress analysis. An important part of the study is the analysis of the life cycle of structures, which includes the process of manufacturing, transportation, installation and operation of structures.

Steel structures have a long service life and minimal maintenance requirements, which reduces the cost of maintaining buildings. In addition, steel structures can be reused or recycled at the end of their life cycle, which ensures that steel structures meet environmental protection requirements and increase their resistance to destruction due to hazardous conditions.

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

In general, research into structural steel structures is an important process that helps improve the quality and efficiency of building structures. New manufacturing and modeling technologies allow for improved design and provide more accurate and efficient solutions. In the future, researchers can continue to investigate structural steel structures to improve their strength, resistance to hazardous conditions, and efficiency.

## **1.7 Методика дослідження та критерії оцінки формоутворюючої та відео-екологічної функції світла в архітектурі житла**

Коригування траєкторій розвитку системи здійснюється через коригування цілей системи. В природних системах визначена чітка ієрархія цілей, є головна «мета» – вписатися у біосферні цикли, вписування системи у над-систему. Таким чином, природні системи виконують один з найважливіших принципів – принцип спів-розвитку системи. Прораховуючи множину варіантів за допомогою накопиченої структурою інформації, система відбирає ті, що відповідають критеріям збереження стійкості та несуперечності цілям над-системи [143, с. 82].

У наукових дослідженнях відомих вчених України, таких, як проф. О.О.Фоменко, проф. С.Г.Чечельницький, проф. С.М.Данілов виділені рівні сприйняття людиною архітектурного середовища: психофізіологічний, емоційно-естетичний, образно-художній. Дослідження і виявлення методів інформативності, принципів візуального комфорту, а також мети, засобів, проблем, з існуючим на кожному з рівнів сприйняттям, що досліджуються, їх системо-утворюючих зв'язків допомагає забезпечити ефективність впливу візуальної інформації та оптимізувати рівень зорового та естетичного комфорту, огороджуючи тим самим органи почуттів та нервову систему людини як від можливих інформаційних перевантажень, так і від дефіциту інформації [143, 145].

Техносфера, частиною якої є архітектурне середовище, повинна співвідносити свої цілі з біосферою як своєю над-системою, вписувати свої технології в біосферні цикли для збереження основних характеристик природного середовища та середовища проживання людини. Таким чином, за умов створення стійкого симбіозу між техно – та біосферами цей процес (з точки зору «візуальної екології архітектурного середовища») стане сприйматися людиною як естетична константа [144, с. 83].

Найбільш повно паралелі між ієрархічною структурою процесу сприйняття архітектурного середовища людиною та відповідній цьому інформаційній структурі архітектурної форми дає в своїй докторській дисертації професор ХНУБА О.О. Фоменко. За її судженням, модель інформаційної структури архітектурної форми, яка відповідає процесам її сприйняття людиною, складається з трьох основних компонентів [145].

Модель системи «архітектурне середовище» розглядається в дослідженні як матеріальний носій потенційно закладеної в неї інформації, що володіє певними естетичними якостями, які вимірюються, котрий впливає на емоційний стан людини і складається з сукупності об'єктивних інформаційних ознак архітектурної форми.

Перший рівень цієї моделі складається з кольорово-світлових, гравітаційних, «масивних» та лінійних ознак як елементів, які визначають так звану «статистику» архітектурного середовища та належать до сенсорного рівня сприйняття, рівня «відчуття».

Другому рівню вказаної моделі належать морфологічні більш складні ознаки – частково лінійні, площинні, об'ємні, просторові та фізико-механічні. Ці елементи архітектурної форми належать до більш високого рівня сприйняття – перцептивному, тобто рівню, який психологи називають «сприйняття». Цьому ж рівню належать і відповідні набори «морфологічних» знаків – знаки глибини, віддаленості, повітряної перспективи, всілякі перекриття об'єктів.

Третьому, самому високому рівню організації архітектурної форми належать такі об'єктивні інформаційні ознаки, як образотворчі ознаки та відповідні їм знаки, зв'язані з етнопсихологічними характеристиками людини, її культурою. У дослідженні С.Г. Чечельницького пропонується модель, яка являє собою ієрархічний ланцюжок усіх вказаних об'єктивних ознак, що сприймаються візуальними аналізаторам людини [143, с. 108].

У більшості галузей архітектури та мистецтва існує декотрі спеціальні вимоги, без задовольняння яких жодний твір, наприклад, архітектури не може бути гармонійним (канони краси). І якщо вони десь порушені, людина почуває



психологічний дискомфорт. Архітектор Георг Руубер (Естонія) у своїй книзі «Про закономірності краси» пише, що приємне або неприємне відчуття при зоровому сприйнятті залежить від стану нервових клітин, які в залежності від руху очей відпочивають або втомлюються. Це пояснює той стан задоволення, який викликає у людини сприйняття «золотого перетину». Г. Руубер провів низку експериментів, які показали, що емоції, котрі виникають при сприйнятті ритмічного чергування ліній, пропорцій, геометричних фігур, кольорових плям, залежать від закономірностей фізіології зору. В теорії архітектури даний рівень розроблюється в таких розділах, як «відеоекологія» В.А. Філіна [143, с. 113].

Для повного уявлення про те, що таке «візуальна екологія архітектурного середовища» проф. С.Г. Чечельницький пропонує розглянути рівні сприйняття архітектурного середовища – психофізіологічний, емоційно-естетичний та художньо-образний аспект сприйняття середовища.

1 – психофізіологічний аспект сприйняття середовища як фізично існуючої реальності з притаманними їй властивостями – масою, об'ємом, розмірами, розташуванням у просторі, фактурою, світлом та кольором. Психіка та фізіологія людини, а також реакція на приємні або неприємні для органів почуттів фізичні впливи протягом століть практично не змінилися, і сучасна людина має ті ж здібності сприйняття, що й людина епохи еллінізму та середньовіччя. Цей рівень психологи називають сенсорним [143, с. 112].

2 – емоційно-естетичний (перцептивний) аспект сприйняття середовища – виразність ліній, площин, кольору, просторів та об'ємів, які складають форму як основу емоційного впливу на людину. У відмінності від відчуттів, сприйняття завжди виступає як суб'єктивно співвідносне з оформленою у вигляді предметів, поза нас існуючої дійсності. Відчуття знаходяться в нас самих, властивості же, які сприймаються, їх образи, локалізовані у просторі (процес об'єктивізації). Підсумком виникнення відчуття є декотре почуття (наприклад, почуття яскравості), у той час, коли у результаті сприйняття складається образ, який включає до себе комплекс взаємозв'язаних різних відчуттів, що приписуються людською свідомістю предмету, явищу, процесу. Окремі відчуття як би

«прив'язані» до специфічних аналізаторів, і достатньо буває впливу стимулу на їх периферичні органи – рецептори, щоб відчуття виникло. Сприйняття виступає як усвідомлений синтез різноманітних відчуттів, які виникають від цілісних предметів. Форма важлива в об'єктах естетики, в процесі споглядання вона сама є джерелом певних естетичних емоцій. Сюди входять такі поняття, як асоціативний ряд, психологічний фон, психологічний мікроклімат. Даний рівень належить до базисних вражень людини про форму та простір. У теорії архітектури даний рівень розроблювався в таких розділах, як естетика, екоетика.

3 – архітектурна форма має образно-художній зміст середовища як твору мистецтва. Це процес усвідомлення її композиції, художньої форми і через них – образної виразності. Це вид естетичної діяльності, який виражається у цілеспрямованому та цілісному сприйнятті твору як естетичної цінності, яке супроводжується естетичним переживанням. Естетичне сприйняття включає життєвий досвід суб'єкта, його естетичний смак та ціннісні орієнтації. Вибірковість та глибина такого сприйняття зумовлені станом культури та суспільства. Продуктом такого сприйняття становиться «вторинний» образ і сенс, якій співпадає або не співпадає з образом та ідеєю, які замислювались автором. Цей рівень психологи називають апперцептивним.

На відміну від перших двох рівнів, у яких превалує природно-науковий підхід, на даному рівні сприйняття архітектурної форми до об'єкту, що досліджується, застосовується гуманітарний підхід. У теорії архітектури даний рівень розроблюється в таких розділах, як культурологія, семіотика архітектури. Наприклад, проблемою аналізу художнього тексту, його знакового та предметно-значеннєвого «змісту» займався Ю. Лотман [143, с. 111-118].

Результати теоретичних положень узагальнені проф. С.Г.Чечельницьким у системі візуально-екологічних якостей комфортного архітектурного середовища дозволяє професійно, системно усвідомити взаємозв'язок та взаємовплив рівнів візуального освоєння людиною архітектурного середовища (психофізіологічного, емоційно-естетичного, образно-художнього) та виявити проблеми сучасного стану архітектурного середовища, які не корелюють з

вивченими та запропонованими принципами його візуально-екологічної комфортності.

Візуально-екологічний комфорт психофізіологічного рівня сприйняття архітектурного середовища складається з його насиченості різноманітними видимими елементами.

Візуально-екологічний комфорт емоційно-естетичного рівня сприйняття архітектурного середовища складається з його насиченості різноманітністю «емоційно забарвлених» елементів.

1. Візуально-екологічний комфорт образно-художнього рівня сприйняття архітектурного середовища сьогодні має складне та неоднозначне визначення [146, с. 356-358].

В процесі візуального спостереження та фото-фіксації автором був застосований три-етапний метод сприйняття світло-кольорової композиції у архітектурному середовищі:

1 етап, коли максимальна відстань дозволяє в оптимальному куті сприймати всю забудову, яка історично склалася (її силует на тлі неба); задана забудова – це константа; на цьому етапі підбирається найбільш оптимальне світлове рішення, зв'язане з природою (воно може контрастувати з оточенням або розчинятися в ньому).

2 етап, коли при наближенні спостерігача в оптимальний кут зору попадає окремий архітектурний об'єкт, який сприймається вже на знайденому тлі всієї забудови (це стає другою константою).

3 етап, коли при подальшому наближенні до архітектурного об'єкту в оптимальний кут зору попадає архітектурна деталь, яка також може або контрастувати, або «розчинятися» на фоні фасаду.

В рамках аналізу силуетних характеристик архітектури в контексті дослідження її інформативності були визначені граничні («верхні» та «нижні») комфортні параметри візуальної інформативності (проф. О.О.Фоменко). Силует будинку, виходячи з експериментів відео-екологів, є однією з основних складових частин формування комфортного візуального середовища. За їх

рекомендаціями, силует будинку повинен бути складним і різноманітним і не мати прямих ліній великої довжини. Це пояснюється з фізіологічної точки зору: на прямій лінії відсутні точки фіксації після «саккади». Відсутність «опори» призводить до відчуття дискомфорту.

Всі критерії оптимальності, які відомі сьогодні архітектурній науці та практиці, розділяються на три види: економічні, утилітарні (споживчі) та естетичні. Існує давно відома точка зору, суть якої міститься в тому, що комфорт архітектурного середовища знаходиться у прямій залежності від обсягу розходів, що архітектурно-художня складова не має безпосередньої органічної залежності від споживчої, функціональної якості та економічності. Вважається також, що критерії економічності, споживчої якості та критерії краси знаходяться у певній мірі в стані протиріччя, є несумірними за своєю суттю. Однак, це не узгоджується з системною природою архітектурних об'єктів, оскільки фундаментальний системний принцип цілісності передбачає необхідну сумісність цих, на перший погляд різних, критеріальних категорій. Автором даної роботи запропонована методика дослідження та критерії оцінки формоутворюючої та відео-екологічної функції світла в архітектурі житлових і громадських споруд.

У наукових дослідженнях та у процесі проектування архітектурних систем застосовуються, як правило, локальні критерії, які за необхідності зводяться до одного (так званого „комплексного” або „синтетичного”) критерію за допомогою різних прийомів сумірності. Багатьма спеціалістами, що працюють в галузі архітектури, відзначається принципова неможливість розробки «генерального» критерію оптимальності для всієї системи. Вважається, що архітектурні системи за своєю природою і сутністю – полікритеріальні, так як складаються з різних за функцією елементів. Така точка зору (за проф. Г.І. Лавриком) виникає від розуміння об'єкту архітектурної діяльності не як системи, а як комплексу, тобто довільного об'єднання дослідником або проектувальником складових архітектурного об'єкту, які мають свій персональний критерій якості.

Критеріями для встановлення норм інсоляції слугують два фактора: психоестетичний (на основі загально прийнятих уявлень і статистичних даних зарубіжних досліджень) і біологічний (на основі досліджень впливу інсоляції на біологічні об'єкти). Оптимальна комфортність середовища може бути забезпечена наявністю візуально-естетичних і еколого-кліматологічних факторів.

На основі наукових досліджень проведених автором виявлена комплексна система критеріїв оцінки ефективності сонцезахисних засобів (світлотехнічні, теплотехнічні, аераційні та економічні показники), та окремо критерії оцінки інсоляційного режиму на житлових територіях. Встановлено, що комплексна система оцінки інсоляції може базуватися на трьох головних факторах: гігієнічному, соціально-архітектурному та техніко-економічному.

Головним орієнтиром якості в оціночних процедурах, за висновком автора, повинні стати чітко обґрунтовані екологічні критерії. Екологічні критерії ранжуються, виходячи з рівня їх представлення в архітектурному об'єкті. Можуть бути, наприклад, цілісні екологічні критерії – критерії функціонального комфорту, а також окремі його характеристики (населеність, довкілля тощо). Інтегральний критерій (функціональний комфорт) розглядається як оптимальний функціональний стан, при якому досягається відповідність засобів і умов оточуючого середовища діяльності, функціональним можливостям людини. Як системне утворення, функціональний комфорт містить в собі два базових компонента – психологічний та психофізіологічний – і характеризується задоволенням від діяльності, а також високою її ефективністю.

Результати аналізу низки наукових досліджень в галузі оптимізації систем різних типів дають підставу зробити висновок про перспективність пошуку «генерального» критерію оптимальності, наприклад, демоекосистем різного рівня складності. Відповідно до положень, наведених в монографії проф. Г.І.Лаврика, визначальною рисою такого критерію є те, що він – не проста сума характеристик окремих складових системи, а своєрідна реалізація, кількісне

відображення одного із законів (принципів) поведінки системи як функціонально-просторової цілісності.

Для оптимізації процесу проведення даного дослідження була розроблена структурно-логічна схема етапів дослідження:

1-й етап – аналітичний, завдання якого – критичний розгляд джерел. На цьому етапі був здійснений відбір літературних джерел за досліджуваною проблемою, проведений вибір об'єктів дослідження (об'ємно-планувальні рішення та фасади малоповерхових і багатоповерхових житлових та громадських будівель, інтер'єри квартир), виконана їх фото-фіксація. Ці процедури слугували основою для актуалізації проблеми, для обґрунтування наукової та практичної цінності дослідження, обраного наукового напрямку.

2-й етап – методологічний, що припускає створення системної основи дослідження. На другому етапі були виявлені системні методи дослідження комплексу світлових засобів в архітектурі, розглянутий комплексний підхід, що містить комплексну оцінку естетичних, споживчих і економічних якостей світлових засобів, описані різні методи (моніторингу, експертних суб'єктивних оцінок, метод структурно-логічного моделювання, метод математичної статистики), що використані в даному дослідженні. Ці компоненти лягли в основу розробки схеми дослідження і створення його концептуально-методологічної основи.

3-й етап – експериментально-аналітичний, у процесі якого відбувається здійснення поставлених завдань дослідження. На даному етапі дослідження були виявлені фактори, що впливають на формування комплексу світлових засобів в архітектурі (кліматологічні, історико-культурні, психофізіологічні, екологічні), визначена типологія будівель та споруд в аспекті використання сучасних світлових засобів у малоповерховій та багатоповерховій житловій архітектурі (український та європейський досвід). На цьому етапі проводилися експериментальні дослідження світло-формування архітектурних об'єктів та інтер'єрного середовища багатоповерхових житлових будинків.

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

4-й етап – теоретичний – теоретичне узагальнення та практична апробація результатів дослідження. Четвертий етап дослідження присвячений розробці методологічних принципів інтерпретації традиційних і сучасних методів формування світлового середовища у житлових і громадських будинках України з урахуванням прогресивних інженерно-будівельних технологій, а також розробці методики стадійної організації комплексу світлових засобів в архітектурі житлових і громадських будівель (табл.1.).

Таблиця 7. Структурно-логічна схема етапів дослідження

Етапи дослідження	Завдання етапу	Складові елементи етапу
1	2	3
1 етап аналітичний	Критичний розгляд джерел	1.1. Відбір та аналіз літературних джерел з проблеми, що досліджується
		1.2. Вибір об'єктів дослідження (житлові і громадські будівлі, інтер'єри), фотофіксація
		1.3. Актуалізація проблеми, обґрунтування наукової та практичної цінності дослідження, обраного наукового напрямку
2 етап методологічний	Створення системної основи дослідження	2.1. Системні методи дослідження комплексу світлових засобів в архітектурі житлових і громадських будівель
		2.2. Комплексний підхід: комплексна оцінка естетичних, споживчих і економічних якостей комплексу світлових засобів
		2.3. Метод моніторингу
		2.4. Метод експертних суб'єктивних оцінок
		2.5. Метод структурно-логічного моделювання
		2.6. Метод математичної статистики
		2.7. Розробка схеми дослідження та створення його концептуально-методологічної основи
3 етап експериментально-аналітичний	Здійснення поставлених завдань дослідження	3.1. Виявлення кліматологічних та історико-культурних передумов розвитку архітектурних концепцій формування оптимального світлового середовища в архітектурі
		3.2. Виявлення традиційних архітектурно-композиційних прийомів формоутворення як методів формування комфортного сонячного світлового середовища в природно-кліматичних умовах України
		3.3. Експериментальні дослідження світлоформування архітектурних об'єктів і комфортності сонячного світлового середовища багатоповерхових житлових будівель

4. етап теоретичний	Теоретичне узагальнення та практична апробація результатів дослідження	4.1. Розробка методологічних принципів інтерпретації традиційних методів формування комплексу світлових засобів в сучасних житлових і громадських будівлях
		4.2. Розробка методологічних принципів формування комплексу світлових засобів на основі сучасних інженерно-будівельних технологій
		4.3. Розробка методики стадійної організації комплексу світлових засобів в архітектурі житлових і громадських будівель

В ході аналізу факторів формування візуально комфортного архітектурного середовища було проаналізовано і виділено три рівня сприйняття людиною архітектурного середовища (психофізіологічний, емоційно-естетичний і образно-художній).



### 1.8 Дослідження нелінійної динаміки будівельних конструкцій методом граничних елементів

Розглянемо побудову диференціального рівняння плоского згину залізобетонної балки з урахуванням фізичної та геометричної нелінійностей і пластичності матеріалів при складному навантаженні.

Так, навантаження балки не передбачається простим і тому для опису напружено-деформованого стану в бетоні замість деформационної теорії пластичності використовується теорія пластичної течії [147-153, 159].

Розглядається згин залізобетонної консольної балки прямокутного поперечного перерізу, що знаходиться під дією навантаження, прикладеного до кінців (рис. 1).

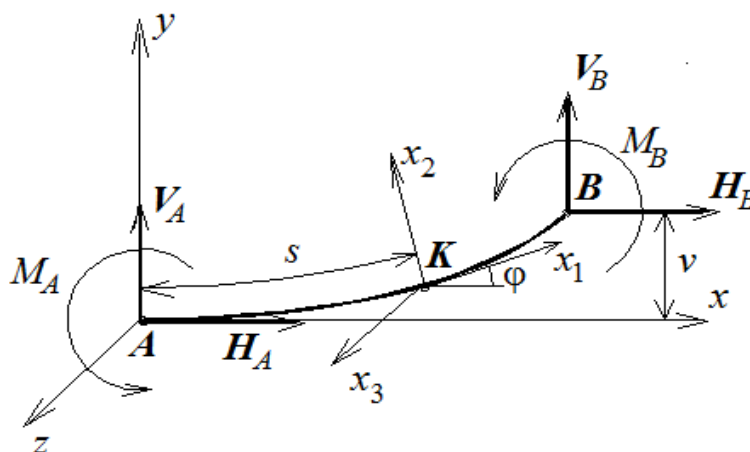


Рис. 1 Схема навантаження балки

Як прийнято в теорії пластичної течії, прирости деформацій можуть бути представлені у вигляді суми пружних і пластичних складових:

$$d[\varepsilon] = d[\varepsilon]_e + d[\varepsilon]_p. \quad (1)$$

Тут  $d[\varepsilon] = [d\varepsilon_{11}, d\varepsilon_{22}, d\varepsilon_{12}]$  ( $\varepsilon_{ij}$  – елементи тензора деформацій, передбачається, що балка знаходиться в стані плоскої деформації). Відповідно до асоційованого закону течії приріст пластичної деформації може бути представлений в наступному вигляді:

$$d[\varepsilon]_p = \vartheta \frac{\partial \Phi([\sigma], \chi)}{\partial [\sigma]}, \quad (2)$$

де  $\Phi$  – функція навантаження,  $\chi$  – параметр зміцнення [147-150,158],  $[\sigma] = [\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}]$ ,  $\sigma_{i,j}$  – елементи тензора деформацій,  $\nu_0$  – коефіцієнт пропорційності. Відповідно до закону Гука можна записати

$$d[\sigma] = [D]_e d[\varepsilon]_e \quad (3)$$

( $[D]_e$  – початкова матриця пружності). Зауважимо, що матриця  $[D]_e$  для лінійно пружного ізотропного матеріалу в разі плоскої деформації має наступний вигляд:

$$[D]_e = \frac{2G_0}{1-\mu_0} \begin{bmatrix} 1 & \mu_0 & 0 \\ \mu_0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\mu_0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Тут  $G_0$  – модуль зсуву,  $\mu_0 = \nu_0 / (1 - \nu_0)$ ,  $\nu_0$  – початковий коефіцієнт Пуассона.

Підставляючи (2) і (3) в (1), будемо мати:

$$d[\varepsilon] = [D]_e^{-1} d[\sigma] + \vartheta \frac{\partial \Phi([\sigma], \chi)}{\partial [\sigma]}. \quad (5)$$

Приймаючи, що:

$$d\chi = [\sigma]^T d[\varepsilon]_p \quad (6)$$

і слідуючи далі, отримуємо:

$$d[\sigma] = [D]_{ep} d[\varepsilon], \quad (7)$$

де

$$[D]_{ep} = [D]_e - [D]_e \frac{\partial \Phi}{\partial [\sigma]} \left[ \frac{\partial \Phi}{\partial [\sigma]} \right]^T [D]_e \left\{ \left[ \frac{\partial \Phi}{\partial [\sigma]} \right]^T [D]_e \frac{\partial \Phi}{\partial [\sigma]} - \frac{\partial \Phi}{\partial \chi} [\sigma]^T \frac{\partial \Phi}{\partial [\sigma]} \right\}^{-1} \quad (8)$$

Функцію навантаження будемо будувати в наступному вигляді:

$$\Phi([\sigma], \chi) = \Phi_l([\sigma]) + h(\chi) \quad (9)$$

( $\Phi_l([\sigma])$  – функція, яка визначає граничну поверхню і умову міцності  $\Phi_l([\sigma]) = 0$  в просторі напружень,  $h(\chi)$  – функція зміцнення). Використовуємо умову міцності для плоского деформованого стану бетону, наведене в [154]:

$$\Phi_l([\sigma]) = 0, \quad (10)$$

$$\Phi_l([\sigma]) = (\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 2(R_c - R_p)(\sigma_{11} + \sigma_{22}) + 4\sigma_{12}^2 - \frac{1}{3}(R_c + R_p)^2. \quad (10a)$$

Як вже помічалось,  $R_c$  і  $R_p$  – межі міцності матеріала при осьових стиску і розтязі.

Тут прийнято:  $R_c = R_{bn} = f_{ck}$ ,  $R_p = R_{btm} = f_{ctk}$ .

Прийmemo:

$$h(\chi) = -\tilde{\Phi}_l(\tilde{\sigma}_{11}), \quad (11)$$

де через  $\tilde{\Phi}_l(\tilde{\sigma}_{11})$  позначена  $\Phi_l([\sigma])$  при осьовому розтязі (стиску) в умовах плоскої деформації, тобто:

$$\tilde{\Phi}_l(\tilde{\sigma}_{11}) = \tilde{\sigma}_{11}^2 + 2(R_c - R_p)\tilde{\sigma}_{11} - \frac{1}{3}(R_c + R_p)^2. \quad (12)$$

Так як поточні значення напружень (тобто компоненти вектора  $[\sigma]$ ) повинні лежати на поверхні навантаження, тобто повинні задовольняти рівнянню

$$\Phi([\sigma], \chi) = 0, \quad (13)$$

то рівність  $\tilde{\Phi}_l(\tilde{\sigma}_{11}) = \Phi_l([\sigma])$  являє собою квадратне рівняння щодо  $\tilde{\sigma}_{11}$ , вирішуючи яке знаходимо:

$$\tilde{\sigma}_{11} = -(R_c - R_p) + \sqrt{(R_c - R_p)^2 + \frac{1}{3}(R_c + R_p)^2 + \Phi_l([\sigma])}. \quad (14)$$

Знак плюс перед коренем обраний тому, що при деформаціях, близьких до одноосьового розтягу (стиску), має виконуватися наступне співвідношення  $\tilde{\sigma}_{11} \approx \sigma_{11}$ .

Розглянемо тепер залізобетонний стержень, підданий одноосьовому розтягу або стиску при плоскій деформації. Відповідно до деформаційної теорії пластичності бетону Г.А.Генієва можна записати наступні співвідношення:

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= 3K(\varepsilon_0, \gamma_0)\varepsilon_0, \tau_0 = G(\gamma_0)\gamma_0, \\ K(\varepsilon_0, \gamma_0) &= K_0 g_1(\gamma_0) g_2(\varepsilon_0, \gamma_0), G(\gamma_0) = G_0 g_1(\gamma_0). \end{aligned} \quad (15)$$

Тут  $\sigma_0, \gamma_0$  – октаедричні напруження:

$$g_1(\gamma_0) = 1 - \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}\Gamma_c k(\lambda, \delta)} \gamma_0, g_2(\varepsilon_0, \gamma_0) = 1 + \frac{g_0}{2\varepsilon_0} \gamma_0^2. \quad (16)$$

$g_0$  – модуль дилатації,  $K_0$  і  $G_0$  – початкові модулі об'ємного стиску і зсуву,  $\Gamma_c$  – гранична інтенсивність деформацій зсуву при чистому зсуві, а  $k(\lambda, \delta)$  визначається за формулою:

$$\kappa(\lambda, \delta) = \frac{\lambda(1+\delta)}{2} + \sqrt{\frac{\lambda^2(1+\delta)^2}{4} + 1 + \delta}. \quad (17)$$

У формулі (17):

$$\lambda = -f_0\sigma_0/T, \quad \delta = -e_0(S/T)^3, \quad S = \sqrt{3}(D_3/2)^{1/3}, \quad (18)$$

$D_3$  – третій інваріант девіатора напружень,  $T = \sqrt{\frac{3}{2}}\tau_0$  – інтенсивність дотичних напружень,  $f_0$  і  $e_0$  – безрозмірні коефіцієнти:

$$f_0 = \frac{3T_c(R_c - R_p)}{R_c R_p}, \quad e_0 = \frac{R_c R_p}{3T_c^2} - 1, \quad (19)$$

$T_c$  – граничне значення  $T$  при чистому зсуві. Зауважимо, що при даному напружено-деформованому стані стержня

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \frac{(1+\nu)\tilde{\sigma}_{11}}{3}, \quad \tau_0 = \frac{\sqrt{2}}{3} |\tilde{\sigma}_{11}| \sqrt{1-\nu+\nu^2}, \\ \varepsilon_0 &= \frac{\mu\tilde{\varepsilon}_{11}}{3}, \quad \gamma_0 = \frac{2\sqrt{2}}{3} |\tilde{\varepsilon}_{11}| \sqrt{1+\mu+\mu^2} \end{aligned} \quad (20)$$

( $\tilde{\sigma}_{11}$  – нормальне напруження на площинці, перпендикулярній осі стержня,

$\tilde{\varepsilon}_{11}$  – поздовжня деформація,  $\mu = \nu / (1-\nu)$ ,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона). Тоді враховуючи що:

$$D_3 = (\sigma_1 - \sigma_0)(\sigma_2 - \sigma_0)(\sigma_3 - \sigma_0), \quad (21)$$

формули (18) і (15) можна представити так:

$$\lambda = -\frac{f_0}{\sqrt{3}} \frac{1+\nu}{\sqrt{1-\nu+\nu^2}} \operatorname{sgn}(\tilde{\varepsilon}_{11}), \quad \delta = -\frac{e_0}{2} \frac{(2-\nu)(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu+\nu^2)^{3/2}} \operatorname{sgn}(\tilde{\varepsilon}_{11}), \quad (22)$$

тому що  $\operatorname{sgn}(\tilde{\sigma}_{11}) = \operatorname{sgn}(\tilde{\varepsilon}_{11})$ .

З (16) і (20) знаходимо:

$$f(\gamma_0) = 1 - \frac{\sqrt{3(1+\mu+\mu^2)}}{3\Gamma_c \kappa(\lambda, \delta)} |\tilde{\varepsilon}_{11}|, \quad g(\varepsilon_0, \gamma_0) = 1 + \frac{4g_0(1+\mu^2+\mu^4)}{1-\mu} \tilde{\varepsilon}_{11}. \quad (23)$$

Використовуючи (15), відому формулу  $\nu = [3K(\varepsilon_0, \gamma_0) - 2G(\gamma_0)] / \{2[G(\gamma_0) + 3K(\varepsilon_0, \gamma_0)]\}$  можна представити так:

$$\nu = \frac{1}{2} \frac{3K_0 g(\varepsilon_0, \gamma_0) - 2G_0}{G_0 + 3K_0 g(\varepsilon_0, \gamma_0)}. \quad (24)$$

З (17), (18) і (23) випливає, що при заданому  $\tilde{\varepsilon}_{11}$  рівність (24) являє собою рівняння щодо  $\nu$ . Його можна вирішити, наприклад, методом послідовних наближень. Задаваючись початковим значенням  $\nu = \nu_0$  ( $\nu_0$  - коефіцієнт Пуассона бетону в лінійно-пружній стадії) і підставляючи його в праву частину (24), після кількох кроків знаходимо значення  $\nu$ . Після цього визначаємо  $g_1(\gamma_0)$  і  $g_2(\varepsilon_0, \gamma_0)$  з (23) і за формулою:

$$\tilde{\sigma}_{11} = \tilde{E} \tilde{\varepsilon}_{11}, \tilde{E} = \frac{3K_0 g_1(\gamma_0) g_2(\varepsilon_0, \gamma_0) (1 - 2\nu)}{1 - \nu^2}, \quad (25)$$

що є наслідком (15) і (20), знаходимо  $\tilde{\sigma}_{11}$ . Таким чином може бути побудована функціональна залежність  $\tilde{\sigma}_{11}$  від  $\tilde{\varepsilon}_{11}$ , графік якої для бетону з

$R_c = 19,6 \text{ МПа}$ ,  $R_p = 1,96 \text{ МПа}$  і  $T_c = 3,4 \text{ МПа}$  для випадку стиску представлена рис. 2. Апроксимуючи висхідну гілку кубічною параболою, отримуємо:

$$\tilde{\sigma}_{11} = A_c \tilde{\varepsilon}_{11} + B_c \tilde{\varepsilon}_{11}^2 + C_c \tilde{\varepsilon}_{11}^3 \quad (26)$$

(в разі розтягу  $A_c, B_c, C_c$  замінюються коефіцієнтами  $A_p, B_p, C_p$ ).

В даному випадку

$$d\chi = \tilde{\sigma}_{11} d\tilde{\varepsilon}_{11p} \quad (27)$$

( $\tilde{\varepsilon}_{11p}$  – пластична деформація стержня). Тоді

$$\frac{\partial \tilde{\sigma}_{11}}{\partial \chi} = \frac{1}{\tilde{\sigma}_{11}} \tilde{E}_{cp}, \tilde{E}_{cp} = \frac{\partial \tilde{\sigma}_{11}}{\partial \tilde{\varepsilon}_{11p}}. \quad (28)$$

Тут  $\tilde{E}_{cp}$  – пластичний модуль пружності для плоскої деформації. Представимо його так:

$$\tilde{E}_{cp} = \frac{\partial \tilde{\sigma}_{11}}{\partial \tilde{\varepsilon}_{11} - \partial \tilde{\varepsilon}_{11e}} = \left( \frac{\partial \tilde{\sigma}_{11}}{\partial \tilde{\varepsilon}_{11}} - \frac{\partial \tilde{\sigma}_{11e}}{\partial \tilde{\varepsilon}_{11}} \right)^{-1} = \frac{\tilde{E}_\tau \tilde{E}_0}{\tilde{E}_0 - \tilde{E}_\tau}, \quad (29)$$

де  $\tilde{E}_\tau$  може бути отримано диференціюванням (26), а  $\tilde{E}_0 = 3K_0 \frac{1 - 2\nu_0}{1 - \nu_0^2}$

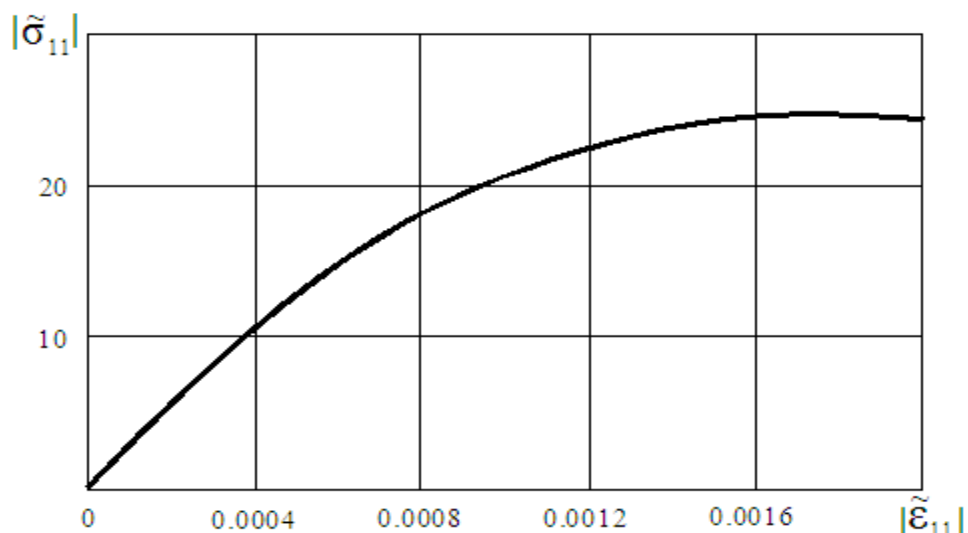


Рис. 2. Графік висхідній гілки діаграми деформування бетону

відповідно до (25).

З (9), (11), (12) і (28) знаходимо:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \chi} = -\frac{\partial h}{\partial \chi} = -2[\tilde{\sigma}_{11} - (R_c - R_p)] \frac{\tilde{E}_{\text{тп}}}{\tilde{\sigma}_{11}}. \quad (30)$$

Решта величин, що входять в (8), легко визначаються з (10а):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{11}} &= 2[\sigma_{11} - \sigma_{22} - (R_c - R_p)], \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{22}} &= -2[\sigma_{11} - \sigma_{22} + R_c - R_p], \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{12}} = 8\sigma_{12}. \end{aligned} \quad (31)$$

Переходимо тепер до визначення приростів деформацій  $d[\varepsilon]$ . Враховуючи, що величина  $\lambda_s$  пов'язана з відносним подовженням осі стержня  $\varepsilon_s$  співвідношенням:

$$\lambda_s = 1 + \varepsilon_s,$$

де  $\varepsilon_s \ll 1$ , формулу можна записати в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11}(s, x_2) &= \varepsilon_s(s) - B(s, x_2)\phi'(s), \\ \varepsilon_{22}(s, x_2) &= 0.5[A_2^2(s, x_2) + B_2^2(s, x_2) - 1], \\ \varepsilon_{12}(s, x_2) &= 0.5A_2(s, x_2). \end{aligned} \quad (32)$$

Тут

$$\begin{aligned} A(s, x_2) &= a_1(s)x_2 + a_2(s)x_2^2 + a_3(s)x_2^3, B(s, x_2) = b_1(s)x_2 + b_2(s)x_2^2, \\ A_2(s, x_2) &= a_1(s) + 2a_2(s)x_2 + 3a_3(s)x_2^2, B_2(s, x_2) = b_1(s) + 2b_2(s)x_2, \end{aligned} \quad (33)$$

$s$  – абсциса, а  $x_2$  – ордината розглянутої матеріальної точки  $K$  в недеформованому стані балки,  $\phi$  – кут повороту поперечного перерізу. Тут і нижче штрих означає диференціювання по  $s$ .

З (32) і (33) отримуємо:

$$\begin{aligned} d\varepsilon_{11} &= d\varepsilon_s - dB\phi' - Bd\phi', d\varepsilon_{22} = A_2dA_2 + B_2dB_2, d\varepsilon_{12} = 0.5dA_2, \\ dA &= da_1x_2 + da_2x_2^2 + da_3x_2^3, dB = db_1x_2 + db_2x_2^2, \\ dA_2 &= da_1 + 2da_2x_2 + 3da_3x_2^2, dB_2 = db_1 + 2db_2x_2. \end{aligned} \quad (34)$$

Використовуємо тепер граничні умови на верхній і нижній гранях балки:

$$d\sigma_{22} = 0, d\sigma_{12} = 0 \text{ при } x_2 = \pm h/2. \quad (35)$$

З (7) випливає:

$$\begin{aligned} d\sigma_{11} &= D_{ep,1,1}d\varepsilon_{1,1} + D_{ep,1,2}d\varepsilon_{2,2} + D_{ep,1,3}d\varepsilon_{1,2}, \\ d\sigma_{22} &= D_{ep,2,1}d\varepsilon_{1,1} + D_{ep,2,2}d\varepsilon_{2,2} + D_{ep,2,3}d\varepsilon_{1,2}, \\ d\sigma_{12} &= D_{ep,3,1}d\varepsilon_{1,1} + D_{ep,3,2}d\varepsilon_{2,2} + D_{ep,3,3}d\varepsilon_{1,2}. \end{aligned} \quad (36)$$

Підставляючи (34) в (36), а потім (36) в (35), отримуємо:

$$\sum_{k=1}^6 U_{i,k} da_k = W_{i,2} d\xi_2 \quad (i = 1, 2, 3, 4), \quad (37)$$

де

$$\begin{aligned} da_4 &= db_1, da_5 = db_2, da_6 = d\varepsilon_s, d\xi_2 = d\phi', \\ U_{i,1} &= D_{ep,j,2}^{\pm} A_2^{\pm} + \frac{1}{2} D_{ep,j,3}^{\pm}, U_{i,2} = \pm (D_{ep,j,2}^{\pm} A_2^{\pm} + \frac{1}{2} D_{ep,j,3}^{\pm}) h, \\ U_{i,3} &= \frac{3}{4} (D_{ep,j,2}^{\pm} A_2^{\pm} + \frac{1}{2} D_{ep,j,3}^{\pm}) h^2, U_{i,4} = -(\pm D_{ep,j,1}^{\pm} \phi' \frac{h}{2} - D_{ep,j,2}^{\pm} B_2^{\pm}), \\ U_{i,5} &= (-D_{ep,j,1}^{\pm} \phi' \frac{h}{4} \pm D_{ep,j,2}^{\pm} B_2^{\pm}) h, U_{i,6} = D_{ep,j,1}^{\pm}, W_{i,2} = -D_{ep,j,1}^{\pm} B^{\pm}. \end{aligned} \quad (37a)$$

Тут  $j = 2$  при  $i = 1, 2$  і  $j = 3$  при  $i = 3, 4$ ; знак  $+$  в двузначчі  $\pm$  береться при  $i = 1, 3$  і знак  $-$  при  $i = 2, 4$ . Верхній індекс «плюс» означає, що значення відповідної функції ( $D_{ep,j,m}(s, x_2)$ ,  $A_2(s, x_2)$  и т.д.) береться при  $y_2 = h/2$ , а верхній індекс «мінус» – при  $y_2 = -h/2$ .

З рівноваги відрізка  $AM$  балки (рис. 1) випливає:

$$dQ + dV_A + dH_A = 0. \quad (38)$$

Тут  $Q$  – головний вектор внутрішніх сил, прикладених до поперечного перерізу.

При цьому:

$$dQ = dQ_b + dQ_{au} + dQ_{ad} \quad (39)$$

( $Q_b$  – головний вектор внутрішніх сил в бетоні,  $Q_{au}$  – у верхній арматурі,  $Q_{ad}$  – в нижній).

Проектуючи рівність (38) на осі  $y_i$  ( $i = 1,2$ ) з урахуванням (39) будемо мати:

$$dQ_{b,i} + dQ_{au,i} + dQ_{ad,i} + dV_{A,i} + dH_{A,i} = 0 \quad (i = 1,2). \quad (40)$$

Очевидно, що:

$$dQ_{b,i} = b \int_{-h/2}^{h/2} d\sigma_{1,i}(y_2) dy_2, \quad dQ_{au,1} = E_a d\varepsilon_{1,1}(h_1) S_1, \quad dQ_{ad,1} = E_a d\varepsilon_{1,1}(-h_2) S_2, \quad (41)$$

$$dQ_{au,2} = G_a d\varepsilon_{1,2}(h_1) S_1, \quad dQ_{ad,2} = G_a d\varepsilon_{1,2}(-h_2) S_2.$$

Тут  $E_a$ ,  $G_a$  – модуль пружності і модуль зсуву арматури, вона припускається близькою до ідеально пружної;  $h_1$  – ордината центра ваги верхньої арматури,  $h_2$  – нижній,  $S_1$  і  $S_2$  - площі їх поперечних перерізів.

Використовуючи (34) і (36), приходимо до наступних рівнянь:

$$\sum_{k=1}^6 U_{i,k} da_k = W_{i,1} d\zeta_1 + W_{i,2} d\zeta_2 + W_{i,3} d\zeta_3 + W_{i,4} d\zeta_4 \quad (i = 5,6), \quad (42)$$

де  $d\zeta_1 = d\varphi$ ,  $d\zeta_3 = d\xi$ ,  $d\zeta_4 = d\eta$ ,

$$U_{i,1} = [{}^{Dep,j,2} + 0.5\{[{}^{Dep,j,3} + \delta_{i,6} G_a (S_1 + S_2)\}], \quad U_{i,2} = 2[{}^{Dep,j,2} + [{}^{Dep,j,3} + \delta_{i,6} G_a (S_1 h_1 - S_2 h_2)], \quad U_{i,3} = 3[{}^{Dep,j,2} + 1.5\{[{}^{Dep,j,3} + \delta_{i,6} G_a (S_1 h_1^2 + S_2 h_2^2)\}], \quad U_{i,4} = -[{}^{Dep,j,1} \varphi' + [{}^{Dep,j,2} - \delta_{i,5} E_a (S_1 h_1 - S_2 h_2) \varphi'], \quad U_{i,5} = -[{}^{Dep,j,1} \varphi' + 2[{}^{Dep,j,2} - \delta_{i,5} E_a (S_1 h_1^2 - S_2 h_2^2) \varphi'], \quad U_{i,6} = [{}^{Dep,j,1} + \delta_{i,5} E_a (S_1 + S_2)], \quad W_{5,1} = H_0 (\xi \sin \varphi + \eta \cos \varphi), \quad W_{i,2} = [{}^{Dep,j,1} + \delta_{i,5} E_a \{S_1 B(h_1) - S_2 B(-h_2)\}], \quad W_{5,3} = H_0 \sin \varphi, \quad W_{5,4} = -H_0 \cos \varphi, \quad W_{6,1} = H_0 (\xi \cos \varphi - \eta \sin \varphi), \quad W_{6,3} = -H_0 \cos \varphi, \quad W_{6,4} = -H_0 \sin \varphi \quad (43)$$

( $j = 1$  при  $i = 5$  и  $j = 3$  при  $i = 6$ ,  $\delta_{i,k}$  – символ Кронекера).

Введено наступні позначення:



$$[f(y_2)]^\# = b \int_{-h/2}^{h/2} f(y_2) dy_2, H_0 = \frac{H}{l^2}, H = \frac{E_b b h^3}{12(1 - \nu_0^2)} + E_a (S_1 h_1^2 + S_2 h_2^2),$$

( $\xi = H_A / H_0$ ,  $\eta = V_A / H_0$ ,  $E_b$  – початковий модуль пружності бетону).

Запишемо (37) і (42) у вигляді єдиної системи рівнянь:

$$\sum_{k=1}^6 U_{i,k} da_k = W_{i,1} d\zeta_1 + W_{i,2} d\zeta_2 + W_{i,3} d\zeta_3 + W_{i,4} d\zeta_4 \quad (i = 1, 2, \dots, 6), \quad (44)$$

причому  $W_{i,j} = 0$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ,  $j = 1, 3, 4$ ).

Позначимо через  $[d^{(m)}]$  ( $m = 1, 2, 3, 4$ ) рішення лінійних систем рівнянь:

$$\sum_{k=1}^6 U_{i,k} d_k^{(m)} = W_{i,m} \quad (i = 1, 2, \dots, 6; m = 1, 2, 3, 4). \quad (45)$$

Очевидно, що рішення системи (44) може бути представлено в такий спосіб:

$$da_i = d_i^{(1)} d\phi + d_i^{(2)} d\phi' + d_i^{(3)} d\zeta + d_i^{(4)} d\eta, \quad (46)$$

причому  $d_i^{(j)}$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ;  $j = 1, 2, 3, 4$ ) не залежать від  $d\phi, d\phi', d\zeta$  і  $d\eta$ .

Знайдемо тепер головний момент приросту внутрішніх сил в поперечному перерізі щодо осі  $y_3$ , що проходить через центр перерізу і перпендикулярна осям  $y_1$  і  $y_2$ :

$$dM_3 = dM_{b,3} - h_1 dQ_{au,1} + h_2 dQ_{ad,1},$$

$$dM_{b,3} = -b \int_{-h/2}^{h/2} d\sigma_{11} y_2 dy_2. \quad (47)$$

Використовуючи (34), (36) і (41), отримуємо:

$$dM_3 = \sum_{k=1}^6 U_{7,k} da_k - W_{7,2} d\phi', \quad (48)$$

$$U_{7,1} = -[D_{ep,1,2} A_2 y_2]^\# - 0.5\{[D_{ep,1,3} y_2]^\#, U_{7,2} = -2[D_{ep,1,2} A_{22}^2]^\# -$$

$$-[D_{ep,1,3} y_2^2]^\#, U_{7,3} = -3[D_{ep,1,2} A_2 y_2^3]^\# - 1.5\{[D_{ep,1,3} y_2^3]^\#, U_{7,4} =$$

$$= [D_{ep,1,1} y_2^2]^\# \phi' - [D_{ep,1,2} B_2 y_2]^\# + E_a (S_1 h_1^2 + S_2 h_2^2) \phi', U_{7,5} = [D_{ep,1,1} y_2^3]^\# \phi' -$$

$$- 2[D_{ep,1,2} B_2 y_2^2]^\# + E_a (S_1 h_1^3 - S_2 h_2^3) \phi', U_{7,6} = -[D_{ep,1,1} y_2]^\# - E_a (S_1 h_1 -$$

$$- S_2 h_2), W_{7,2} = -[D_{ep,1,1} B y_2]^\# + E_a \{S_1 B(h_1) h_1 - S_2 B(-h_2) h_2\}.$$

Підставивши (46) в (48), матимемо:

$$dM_3 = Y_1 d\phi + Y_2 d\phi' + Y_3 d\xi + Y_4 d\eta, \quad (50)$$

$$Y_j = \sum_{k=1}^6 U_{7,k} da_k^{(j)} - \delta_{1,j} W_{7,2} \quad (j = 1, 2, 3, 4).$$

Використовуючи (38), неважко переконатися в тому, що

$$dQ_2 = R_1 d\phi + R_2 d\xi + R_3 d\eta, \quad (51)$$

$$R_1 = -H_0(\xi \cos \phi + \eta \sin \phi), R_2 = -H_0 \sin \phi, R_3 = H_0 \cos \phi.$$

Скористаємося співвідношенням:

$$dM'_3 = -dQ_2$$

Підставивши сюди (50) і (51), приходимо до наступного диференціального рівняння:

$$d\phi'' + Z_1 d\phi' + Z_2 d\phi + Z_3 d\xi + Z_4 d\eta = 0, \quad (52)$$

$$Z_1 = (Y'_1 + Y_2)/Y_1, Z_2 = (Y'_2 - R_1)/Y_1, Z_3 = (Y'_3 - R_2)/Y_1, Z_4 = (Y'_4 - R_3)/Y_1.$$

Отже, було побудовано диференціальне рівняння (52) згину елемента залізобетонної каркасної споруди відносно приростів кутів повороту поперечних перерізів для покрокового методу вирішення квазістатичних і динамічних задач [155-157].

## **1.9 Методична основа дослідження комплексу світлових засобів в архітектурі житлових будівель**

Серед важливих наукових розробок, які стали підґрунтям для визначення методики даного дослідження, слід виділити монографії Йозефа Грашки (Словакія), Йозефа Косо (Венгрія), Яхья Вазірі (Єгипет), М.М. Гусєва, М.В. Оболенського, А.Н. Рімши, Г.І. Лаврика (Україна). Йозеф Косо на основі ретельного вивчення європейського досвіду малоповерхового житлового будівництва, реалізованого в період на межі двох тисячоліть, проаналізував об'єкти біоархітектури, так званих «сонячних будинків».

Науково-теоретичною базою для проведення даного дослідження є положення таких наукових дисциплін як світлотехніка, філософія, теорія інформації, естетика. Враховуючи міждисциплінарний характер досліджуваної проблеми, генеральною стратегією роботи був обраний системний і комплексний підходи.

Необхідно зупинитися на головному питанні – виборі загальної методології дослідження. Це викликало необхідність звернутися до базових джерел у галузі теорії архітектури і робіт, присвячених методологічним проблемам дослідження архітектурних систем в житлі, серед яких виділяється гаукова робота професора Г.І. Лаврика (1980 р.). Його концепція пройшла апробацію в публікаціях і реальних розробках, наприклад, у Казахстані, у генеральних планах м. Києва та м. Одеси.

Як уже було доведено більшістю дослідників, архітектура житла – це динамічна система, тому що в її межах діється постійний розвиток, зміни та взаємодії складових її компонентів. Архітектура житла як система являє собою складну будову, яка складається з взаємозв'язаних компонентів. Компоненти міської і житлової системи підрозділяються на компоненти природного (натурального) та штучного походження (інженерні, архітектурні та дизайн-об'єкти). У свою чергу, кожний архітектурний об'єкт як цілісність, до самого його інтер'єрного середовища, також являє собою систему.

Для розуміння процесів взаємодії всіх компонентів як усередині міської системи, так і компонентів безпосередньо усередині кожного об'єкту виникає необхідність розуміння як складної системи зі структурою елементів, з можливою декомпозицією на підсистеми, і системного підходу, і системного аналізу цих структур. Система – це цілісне, органічно єдине створення, яке складається з множини елементів, що знаходяться у відносинах або зв'язках один з одним, а підсистема – відносно незалежна частина системи, з'єднуюча елементи, виділені при декомпозиції (роз'єднання системи на частини заради її дослідження), та яка реалізує виконання деякої функції, що забезпечує досягнення загальної мети. Елемент системи – найпростіша неподільна її частина, яка відповідає гранично детальному розгляду системи в рамках завдання, що вирішується, а цілісність – найважливіша характеристика системи, котра виявляється в тому, що в процесі взаємодії елементів, які входять до її складу, виникає принципово нова якість, властивість, яким не володіє жоден з елементів, що входять у систему.

Структура системи – опис сукупності елементів (склад системи) та найбільш стійких зв'язків (взаємозв'язків) між ними.

Системний підхід орієнтує дослідника на розкриття цілісності об'єкта, на виявлення різноманітних типів зв'язків у ньому та зведення їх в єдину теоретичну картину. Професор Г.І. Лаврик (1970 р.), міркуючи про проблеми системних досліджень архітектурної композиції, писав, що «з позицій системного підходу архітектура включає до себе матеріальне середовище як підсистему та є не технічною системою, а екологічною системою, яка забезпечує необхідні біологічні та соціальні умови життєдіяльності людського суспільства. Архітектура як екосистема людини має деяку спільність з біоекосистемами, однак у них є і принципіальні відмінності: якщо основою біоекосистем є пристосування (адаптація), то людське суспільство активно діє на природне оточення, створюючи «другу природу», яка відповідає людським критеріям. Людське суспільство є в екосистемі ... ланкою – «мотиватором» поведінки у цілому, тому технічні критерії в нашій екосистемі є важливими, але не

визначальними. Одним з важливіших загальних принципів архітектурної композиції є принцип компактності, принцип визначальних ознак, принцип інваріантності структури» [160, с.160].

Перелік, звичайно, не вичерпує всього числа архітектурних принципів. Крім специфічно архітектурних принципів, існують загальні системні принципи – цілісності, зворотного зв'язку, ієрархії побудови та інші. Принцип компактності інтуїтивно усвідомлювався архітекторами всіх епох та виражався у прагненні до «простоти», «лаконічності», «закінченості». З давніх пір увагу зодчих притягували «найдосконаліші» (найкомпактніші) геометричні форми – круг та куля. Наступний їх аналіз призвів до формулювання так званої ізопериметричної теореми. Прагнення архітектури до простоти є відображенням загального принципу «найменшої дії», який міститься в тому, що будь-який процес або явище в живій або неживій природі прагне до мінімально необхідних витрат енергії.

Герон Александрійський відкрив, що промінь світла проходить між оком та джерелом світла по коротшому шляху. У подальшому фізик Е. Фермі сформулював принцип поведінки світла: світло обирає із всіх можливих шляхів, які з'єднують дві точки, той шлях, який потребує найменшого часу для його проходження, тому що у світі не відбувається нічого, у чому не було б видно сенсу якого-небудь максимуму або мінімуму [161, с. 39].

Біофізиком Н. Рашевським стосовно живої природи сформульований принцип «максимальної простоти» або принцип адекватної конструкції, відповідно до якого конкретна структура або конструкція, існуюча в природі, є найпростішою з можливих структур або конструкцій, здібних виконати дану функцію або групу функцій [161, с.39].

Професор Г.І. Лаврик підкреслює, якщо принципи (компактності та визначальних ознак) належать до якісних (метричних) аспектів архітектурної теорії, то принцип інваріантності структури носить якісний (реляційний) характер. Вченим зроблений важливий висновок - відношення між елементами

(підсистемами) цілісних архітектурних об'єктів інваріантні для всіх останніх не відрізнялися складністю або призначенням (або тим чи іншим одночасно).

Професор О.О. Тіц визначає об'ємно-просторову систему як «систему, що взаємозв'язана об'ємно-просторовими елементами, котрі володіють стійкими принципами формотворення». Це і є поняття інваріанта.

У роботі Д.В. Бахарєва розглядаються загальні методологічні основи розрахунку сонячної радіації в умовах простору, що екранується, методика геометричного розрахунку інсоляції на основі методу числових відміток, що лежить в основі графіків Г. Марті та А.М.Рудницького [162, с. 12].

Методи розрахунку інсоляції (графіки, пристрої) розробили також Г. Плейжер, М Тваровський, В.Г Макаревич, Л.В Берідзе, А.Я. Штейнберг, В.М Півкін, І.В Маргіані. Найбільш раціональними визнані ідентичні методи Г Марті, А.М. Рудницького та М Тваровського, засновані на застосуванні «Інсоляційних графіків» або «Сонячних лінійок», розповсюджених І.С. Сухановим та Б.А. Дунаєвим [162, с. 14].

Системний аналіз – науковий метод пізнання, який являє собою послідовність дій з установаження структурних зв'язків між перемінними або елементами системи, що досліджується. Існує велика кількість методів та методик системного аналізу, які можуть бути використані для розв'язання завдань, пов'язаних з проведенням досліджень складних, слабо структурованих систем. До числа найбільш ефективних методів прийняття рішень при дослідженні складних ситуацій належить метод аналізу ієрархій, запропонований американським вченим Т. Сааті. Метод парних порівнянь дослідник використовується для проведення суб'єктивних оцінок, тобто коли немає можливості чисельно оцінити ситуацію.

Встановлення важливості елементів при парному порівнянні є відбиття спроможності людини до висловлювання відносних (порівняльних) суджень. При тому, що вона зазвичай утруднюється відразу оцінити багатоаспектну проблему в цілому. Даний метод опирається на декомпозицію системи на більш прості складові її частини, проведення за спеціальною формою експертного

опитування осіб, які приймають рішення та подальшу математичну обробку їх суджень.

Аналіз проблеми прийняття рішень у методі аналізу ієрархій починається з побудови ієрархічної структури, яка включає три рівні: I рівень – ціль вибору; II рівень – критерії; III рівень – альтернативи та інші фактори, що розглядаються та які впливають на вибір рішення.

Вирішення складної проблеми завжди є процесом поетапного встановлення пріоритетів. Ієрархія – структура системи, котра призначена для вивчення функціональних взаємодій її компонентів та їх взаємодій на систему в цілому. Ця структура віддзеркалює розуміння проблем особою, що приймає рішення. Вершиною ієрархії є головна ціль, елементи нижнього рівня являють множину варіантів досягнення цілі (альтернатив), елементи проміжних рівнів відповідають критеріям або факторам, які зв'язують ціль з альтернативами. Побудова такої структури допомагає проаналізувати всі аспекти проблеми та більш глибоко вникнути в суть завдання.

Кожний елемент ієрархії може являти різні аспекти завдання, що вирішується, причому до уваги можуть бути прийняті як матеріальні, так і нематеріальні фактори, кількісні параметри, які вимірюються, та якісні характеристики, об'єктивні дані та суб'єктивні експертні оцінки. Основне завдання ієрархії – оцінка вищих рівнів, виходячи з взаємодії різних рівнів ієрархії, а не безпосередньої залежності від елементів на цих рівнях. Ієрархічна система більш стійка та гнучка – малі зміни викликають малий ефект, а додатки не руйнують загальних характеристик.

Наступний етап аналізу – за допомогою процедури парних порівнянь визначення пріоритетів, які являють собою відносну важливість або першість елементів кожної групи побудованої ієрархічної структури. Подібно ймовірностям, пріоритети – безрозмірні величини, які можуть набувати значення від нуля до одиниці. Чим більш величина пріоритету, тим більш значним є відповідний йому елемент. Сума пріоритетів елементів, підпорядкованих одному елементу вище лежачого рівня ієрархії, дорівнює одиниці. Пріоритет цілі за

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

визначенням дорівнює 1.0. Цільова функція – математично представлена ціль проекту. Безрозмірні пріоритети дозволяють обґрунтовано порівнювати різнорідні фактори, що є відзначною особливістю методу аналізу ієрархії. Якщо пріоритети всіх елементів не встановилися особами, що приймають рішення, то за умов мовчання вони вважаються однаковими, тобто критерії мають рівну важливість з точки зору мети, а пріоритети всіх альтернатив рівні за всіма критеріями.

На заключному етапі аналізу збирається інформація з усіх учасників для розставлення пріоритетів, математично оброблюється та виконується синтез (лінійного згортання) локальних пріоритетів усіх елементів ієрархії, в результаті якої обчислюється кількісна оцінка (глобальних) пріоритетів альтернативних рішень відносно головної мети. Кращою вважається альтернатива з максимальним значенням пріоритету. Послідовне виконання всіх кроків методу аналізу ієрархії передбачає можливість зміни структури ієрархії, з метою включення до неї критеріїв та альтернатив, що знов з'явилися або раніше не були важливими.

Для проведення суб'єктивних парних порівнянь (коли немає можливості чисельно оцінити ситуацію) Т. Сааті запропонована шкала відносної важливості, представлена в таблиці 6.

Таблиця 1. Шкала відносної важливості

Коефіцієнт відносної важливості	Визначення ситуацій
1	Рівна важливість, пріоритетність
3	Помірна перевага
5	Істотна (сильна) перевага
7	Дуже значна перевага
9	Приголомшлива перевага
2,4,6,8	Проміжні значення між двома сусідніми судженнями (для компромісних ситуацій)

У теорії архітектурної системи існує класифікація на «відкриті» та «замкнуті» зони. Система є «замкнутою», якщо у неї немає оточуючого середовища, тобто



зовнішніх контактуючих з нею систем. До «замкнених» належать і ті системи, на які зовнішні системи не оказують значного впливу. Система має назву «відкрита», якщо існують інші, зв'язані з нею системи, котрі впливають на неї і на які вона теж впливає. Усі живі системи – це «відкриті» системи. Неживі системи є відносно «замкнутими». Наявність зворотного зв'язку наділяє їх декотрими неповними властивостями живих систем, пов'язаних зі станом рівноваги.

Системи за своїм характером поділяються на «детерміновані» та «ймовірнісні». У «детермінованих» системах елементи однозначно взаємодіють точно визначеним чином. У такій системі зв'язку між елементами суворо та однозначно визначені, детерміновані і тому їх називають «детермінованими» системами. Для «детермінованих» систем важливим є поняття цілісності. У «ймовірнісних» системах зв'язки між елементами носять випадковий характер.

Архітектурна система – це відкрита система, тому що існують інші, зв'язані з нею системи (оточуюча природа, людське суспільство та інші), які оказують на неї вплив і на які у свою чергу впливає вона.

Складні системи характеризуються низкою властивостей:

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

б) 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.

в) 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.

г) 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.

д) 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» [163, с. 78].

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 вияснення 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» [163, с. 79, 241]. В архітектурі відомі два шляхи використання законів живої природи: 1) вивчення принципів самоконструювання живих структур і використання цих принципів та законів в архітектурних спорудах з урахуванням потреб людини; 2) копіювання зовнішніх ознак природних форм та механічне перенесення їх до архітектурних споруд.

є) Процес безперервного підвищення значущості інформаційної складової по мірі зростання організаційної та поведінкової складності систем аж до трансцендентного рівня (класифікація К. Боулдінга). Інформація становиться системою, починає тяжити над системами нижчих рівнів і (у декотрому сенсі) «інформація починає існувати самостійно» [163, с. 79].

У результаті аналізу положень середовищного підходу, проведеного проф. С.Г. Чечельницьким, архітектурне середовище як об'єкт візуального сприйняття

людиною розглянуто ним як найскладніша багаторівнева система. 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 [163, с.80]. 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 даному дослідженні використовувались наведені нижче методи: метод моніторингу (з фотофіксацією), метод експертних суб'єктивних оцінок, графоаналітичний метод, метод структурно-логічного моделювання, метод шкалювання та метод ранжирування. Визначення достовірності результатів експертних суб'єктивних оцінок психоестетичних параметрів світлового середовища робилося методами математичної статистики.

Основою для проведення даного дослідження є положення таких наукових дисциплін, як світлологія, філософія, теорія інформації, естетика. Враховуючи міждисциплінарний характер проблем, що досліджується, необхідно ґрунтуватися, насамперед на таких методичних підходах, як системний і комплексний.. основними напрямками останньої є: психологія архітектурної творчості і психологія сприйняття архітектурної форми, міського середовища. Розділ містить аналітичний огляд відомих методик досліджень, вироблених в теорії архітектури, архітектурної композиції та архітектурної психології. Основними напрямками останньої є психологія архітектурної творчості і психологія сприйняття архітектурної форми та архітектурного міського житлового середовища.

**SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES**

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.2.1

**2.1 Аспекти застосування золи виносу ТЕС в технології цементу**

**Вступ: стан питання**

Питання розширення сировинної бази виробництва силікатних матеріалів є предметом численних досліджень, при цьому наголос робиться на залученні в технологічні процеси відходів інших галузей промисловості, в тому теплоенергетики як техногенної сировини [164-166].

Відходи енергетичного комплексу, яких в Україні щорічно утворюється до 10 млн. т, а у відвалах ще знаходиться понад 50 млн. т, слід розглядати не тільки як фактор забруднення навколишнього середовища, але й як джерело додаткових ресурсів для виробництва будівельних матеріалів, в тому числі в'язучих речовин.

Золу виносу отримують на теплоелектростанціях, які використовують подрібнене кам'яне вугілля. Так на більшості ТЕС збирають до 2000 т за добу.

Сушу золу збирають на майданчику складування та гомогенізації, потім направляють в бункери, звідки вивозять в цистернах (автомобільних, залізницею). Для полегшення вантажно-розвантажувальних робіт при транспортуванні та складуванні золу виносу змочують водою (10-20 %). Її направляють безпосередньо споживачу, або знову в топку для повторного використання. При змочуванні більшою кількістю води (30 %) зола транспортується як рідина по трубопроводах і збирається у відстійниках.

Зола виносу утворюється при спалюванні кам'яного вугілля, являє собою чорно-сірий порошок (темніший, ніж цемент). Колір варіює залежно від використовуваного палива і відсотка недовипалу. Гранулометрія коливається в межах 1-200 мкм, в основному 50% частинок мають діаметр менше 30-40 мкм. Питома поверхня становить 2500-4000 см<sup>2</sup>/г (аналогічно цементу). Об'ємна маса у висушеному стані від 0,55 до 0,8 кг/л. Злежування в значній мірі сприяє збільшенню густини, яка в цьому випадку може досягати 0,9 кг/л. Для

порівняння зазначимо, що золи, змішані з водою, в осаді мають густину 0,9 - 1,2 кг/л.

При розгляданні в оптичний мікроскоп зольні частинки мають вигляд склоподібних кульок, окремих або згрупованих разом, гладких або покритих тріщинами, більш-менш відкритими. Трапляються також губчасті скалки неправильної форми і мікроскопічні залишкові продукти згорання вугілля.

Зола виносу складається головним чином з склоподібного кремнезему. Однак справа не стільки в хімічному складі, скільки в кількості склоподібної фази, яка і впливає головним чином на властивості матеріалу. Процес недопалювання має бути низьким, складає в цілому 4-6 %, але не більше 10 %.

Золи ТЕС є неорганічними штучними матеріалами, що мають гідравлічні властивості, і тому відносяться до числа активних мінеральних добавок. При змішуванні в тонкоподрібненому вигляді з гідратним вапном золи при затворенні водою утворюється тісто, здатне після попереднього твердіння на повітрі продовжувати тверднути і в водному середовищі.

Мінеральні добавки широко застосовують в якості часткової заміни глинистого компонента в складі сировинної суміші, а також для виробництва шлакопортландцементу та портландцементу з мінеральними добавками. Використання золи в якості глинистого компонента в сировинній суміші дозволяє збільшити продуктивність цементних печей і скоротити витрату палива на 15 – 18%, так як знижується вологість сировинної суміші і не доводиться витрачати теплоту на декарбонізацію вапняку, що міститься в золах і шлаках.

Більш високі техніко-економічні показники виробництва клінкеру досягаються при використанні сухих зол пневмовидалення. Цінним для цементної промисловості є присутність у складі золи залишків незгорілого палива, вміст якого в середньому становить близько 10%. Це означає, що при використанні 1 млн. т золи в якості сировинного компонента цементна промисловість отримає додатково 100 тис. т палива.

Деякі види золи виносу можна використовувати для підвищення глиноземного і пониження силікатного модуля сировинної суміші. Велика

реакційна здатність золи дає можливість раннього утворення рідкої фази при випалюванні клінкеру і трохи знизити температуру клінкероутворення.

У виробництві цементу зола виносу як активна мінеральна добавка повинна містити не більше:  $\text{SiO}_2$  - 40%,  $\text{SO}_3$  – 3 %, втрати при прокалюванні – 10 %. Зола виносу вводять, як і інші гідравлічні мінеральні добавки, в кількості не більше: в портландцемент – 20 %, в пуцолановий цемент – 55 %. Введення золи в цемент в кількості до 20 % дещо знижує його міцність в початкові терміни тверднення, на 28 добу зниження міцності мінімальне, а при тривалих термінах твердіння міцність цементів з золою стає більш високою, ніж без золи. Збільшення вмісту золи (більше 20 %) зазвичай призводить до істотного зниження характеристик міцності цементу - особливо в ранні терміни тверднення.

У складі сировинної суміші при виробництві клінкеру золою виносу замінюють глинистий і частково карбонатний компоненти, в деяких випадках така заміна покращує хіміко-мінералогічний склад клінкеру та умови його випалу. Так як зола має меншу водопотребу, ніж глини, застосування її в складі сировинної суміші дозволяє по мокрому або комбінованому способам виробництва цементу знизити вологість шламу до 33-34 %, зменшити витрату палива на 7-10 % і підвищити продуктивність обертових печей.

Зола виносу як компонент сировинної суміші портландцементного клінкеру застосовують як при мокрому, так і сухому способі виробництва. Сировинна суміш добре гранулюється, і гранули мають підвищену міцність. Також сприятливо впливають добавки золи до портландцементу в умовах гідротермальної обробки розчинів і бетонів. Підвищення дисперсності золи сприяє інтенсивності тверднення зольного портландцементу.

Найбільш часто рекомендоване дозування золи в зольному цементі є 25-30%. При цьому зола зазвичай вже досить тонкодисперсна і може не піддаватися подрібненню. Однак у багатьох випадках для підвищення гідратаційної активності склоподібних частинок потрібна деформація поверхневих шарів золи (тріщини, відколи, розколювання), що досягається при спільному подрібненні

клінкеру і золи. Встановлено, що найбільш активні частинки золи розміром 5-30мкм.

Пластичні розчини зольного цементу з піском (1:3) характеризуються зниженою водопотребою, а в затверділому стані (більше 2-3 місяців) - підвищеною густиною і міцністю. При збільшенні вмісту золи водопотреба цементу зростає, але в меншій кількості, ніж з іншими пуцолановими добавками. Характерно, що збільшення дисперсності золи не викликає підвищення водопотреби бетонних сумішей, а навпаки, спричиняє пластифікуючий вплив.

Внаслідок порівняно невеликої гідравлічної активності золи виносу застосування зольного цементу значно знижує тепловиділення в бетоні, що є істотним чинником при використанні його в масивних спорудах. Експериментально встановлено, що зола будь-якого типу підвищує сульфатостійкість розчинів і бетонів, особливо при використанні клінкеру з високим вмістом С<sub>3</sub>А [167, 168].

Введення в цемент золи виносу зменшує його деформації при усадці під час тверднення. Цей ефект тим вище, чим менше дисперсність золи. Позитивний вплив золи встановлено при підвищеному вмісті в цементі MgO, що викликає небажані об'ємні деформації при твердненні.

Тривалість тужавлення цементу з золою виносу подовжується пропорційно її складу. Дисперсність золи має незначний вплив на строки тужавлення. Добавка золи надає більш істотний позитивний вплив на міцність цементу при розтягуванні, ніж при стиску.

Однак, враховуючи позитивний досвід застосування золи в цементній промисловості, проблема забезпечення надійності та довговічності виробів та конструкцій, виготовлених із застосування цементно-зольних в'язучих, не розв'язана в повній мірі.

Згідно ДСТУ Б В.2.7-205:2009 [169] зола виносу сухого відбирання, яка утворюється на теплових електростанціях в результаті спалювання вугілля у пилоподібному стані використовується як компонент для виготовлення важких,

легких та ніздрюватих бетонів і будівельних розчинів, а також як тонкомелена добавка для жаростійких бетонів [170-174].

Золи за видом вугілля, що спалюється, підрозділяється на антрацитові (А), кам'яновугільні (КВ) та буровугільні (Б). При цьому в залежності від хімічного складу золи поділяються на кислі та основні. Перша проявляє пуцоланові властивості, друга – гідравлічні властивості.

Кислі золи складаються в основному з реакційноздатного  $\text{SiO}_2$  з масовим вмістом не менше 25 % та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , при цьому вміст оксиду кальцію не перевищує 10 %, а масова доля вільного оксиду кальцію  $\text{CaO}_{\text{віль}}$  складає не більше 1 %.

Основні золи складаються із реакційноздатного  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Масова доля оксиду кальцію  $\text{CaO}$  складає не менше 10 %.

Золи залежно від якісних показників поділяють на 4 види:

I - для залізобетонних конструкцій і виробів з важкого і легкого бетонів;

II - для бетонних конструкцій і виробів з важкого і легкого бетонів, будівельних розчинів;

III - для виробів і конструкцій з ніздрюватого бетону;

IV - для бетонних і залізобетонних виробів і конструкцій, що працюють в особливо важких умовах (гідротехнічні споруди, дороги, аеродроми та ін.).

Зола виносу використовується як мінеральна добавка у виробництві цементу та призначена для виробництва малоклінкерного енергозберігаючого цементу з високими будівельно-технічними властивостями. Дуже важливим є застосування запропонованого технічного рішення для підвищення обсягів виробництва цементу без викиду вуглекислого газу в атмосферу. У відповідності з Кіотським протоколом проблема зниження викидів вуглекислого газу в атмосферу пов'язана з глобальним потеплінням та іншими небажаними кліматичними явищами. Цементна промисловість в цьому плані є однією з найбільш проблемних, так як при щорічному випуску вже близько 2 млрд. т цементу в атмосферу щорічно викидається близько 44 % маси  $\text{CO}_2$  від розкладання вапняку - головного сировинного компонента для виробництва цементу, що становить зазвичай 70-75% мас., сировинної суміші. При



сьогоднішньому обсязі цементу, таким чином, в атмосферу щорічно при випалюванні клінкеру викидається близько 1 млрд. т CO<sub>2</sub>.

Введення техногенної сировини при помелі клінкеру є найбільш ефективним і не дорогим способом зниження викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу. Так, введення 50 мас.% добавок в портландцемент за запропонованим рішенням дозволить знизити викиди CO<sub>2</sub> в два рази, одночасно збільшуючи обсяги виробництва цементу зі збереженням його високої гідравлічної активності.

Відзначається, що зола виносу ефективно також використовувати в неавтоклавному пінобетоні з густиною 200-550 кг/м<sup>3</sup>. Введення золи ТЕС в пінобетон в кількості 20-30% підвищує її міцність на 30-40%.

Золи виносу ТЕС можна застосовувати при виготовленні як монолітних так і збірних бетонних і залізобетонних конструкцій [170]. Використання золи виносу дозволяє керувати процесами структуроутворення, регулювати рухливість і життєздатність бетонної суміші (інтервал часу до втрати рухливості) швидкість тверднення і міцність в заданому віці. Ефективність використання золи однаковою мірою залежить як від характеристик вихідних матеріалів (золи і цементу) так і від правильного підходу до вибору напрямку її використання.

Найважливішою вимогою до технології виготовлення керамзитобетонних виробів є забезпечення щільної структури (без міжзернових порожнин). Для задоволення цієї умови в керамзитобетонній суміші повинно міститися близько 40% фракції дрібніше 1,2 мм, а в піщаній фракції - до 40-50% по масі часток розміром менше 0,15 мм. Це викликає значні виробничі труднощі, так як діючі нині керамзитові заводи практично не виробляють керамзитовий пісок. Дефіцит керамзитового піску і низьку його якість призводять до того, що багато заводів як дрібний заповнювач в конструкційно- теплоізоляційному керамзитобетону застосовують звичайний важкий пісок. У цьому випадку керамзитобетон в значній мірі втрачає свої переваги: густина збільшується до 1400-1600 кг/м<sup>3</sup>, термічний опір різко падає. Одним з ефективних заповнювачів у легких бетонах служить зола ТЕС, яка може частково або повністю замінити невеликий заповнювач інших видів.

Ефективним напрямком є використання золи виносу ТЕС в шлакосилікатних бетонах, які використовують для ремонту аеродромів, доріг, мостів, а також для влаштування луго- і кислотостійких підлог у тваринницьких комплексах, цехах хімічних металургійних та інших виробництв, що працюють з агресивними середовищами. Устрій підлог може здійснюватися шляхом їх заливки або з плиток, приготованих з шлакосилікатного бетону.

Зольний в'язучий матеріал може знайти широке застосування для виготовлення будівельних конструкцій волого - повітряного та гідротермального твердіння. Даним матеріалом можна замінити цемент при виробництві товарних бетонів, будівельних розчинів і готових виробів, що випускаються будівельними комбінатами. Особливо доцільно створювати такі комбінати в безпосередній близькості від ТЕС.

Так само золу виносу ТЕС можна застосовувати як добавку до цементу, що не знижує активності матеріалу, для приготування спеціальних бетонів, виготовлення легких заповнювачів для бетонів (пористий матеріал типу керамзиту, аглопориту і т.д.), для дорожнього будівництва (наповнювач вуглеводневих в'язучих речовин , підготовка під покриття тощо), добавки до глини при виготовленні цегли, черепиці і т.д. [175].

Ефективним напрямком використання золи-виносу ТЕС з оптимальною дисперсністю є ніздрюваті бетони автоклавного тверднення. Застосування золи забезпечує високі та стабільні будівельно-технічні властивості за рахунок отримання щільного та міцного вапняно-цементно-зольного каменю, а також більш високої пуцоланової активності золи відносно кварцового піску.

Також зола виносу використовується для виготовлення штучних пористих заповнювачів; аглопоритового та зольного гравію. Аглопоритовий гравій із золи ТЕС готують методом спікання сирцевих гранул на решітці агломераційних машин. Пористі зольні наповнювачі наближаються за своїми властивостями до керамзиту, але дешевше його. На пористих зольних наповнювачах можна отримувати ефективні легкі бетони.

Один із напрямків з підвищення керамічних виробів та покращення техніко-економічних показників цегляних заводів є використання коректуючих добавок, які дозволяють зменшити витрати палива, яке вводиться в шихту. Даною добавкою може слугувати зола виносу ТЕС. Вона діє одночасно на вигораючі добавки внаслідок наявності в них коксового залишку і як опіснюючі, тобто понижуючі пластичність і повітряну усадку глин. Зола виносу, яка використовується у виробництві будівельної кераміки, повинна відповідати наступним вимогам:

- золи повинні бути легкоплавкими або середньої плавкості (температура розм'якшення відповідно до 1200 і 1400 °С).

- вміст незгорілого палива в золі не обмежується, тому що при вмісті в золі горючої частини 10 % і більш введенню в шихту технологічного палива може бути знижено;

- вміст сірки в золі (у перерахунку на SO<sub>3</sub>) не повинно бути більше 2%, вміст карбонатних порід з розміром зерен більше 1 мм не допускається.

До суттєвих особливостей технології керамічних виробів із золою виносу ТЕС відносяться: більш рівномірний випал за рахунок рівномірно розподілених горючих тонкодисперсних залишків у золі; більш висока якість виробів, у тому числі підвищена міцність і менша щільність; менша витрата технологічного палива. З техніко-економічної точки зору добавка золи-виносу призводить до зниження витрат на виробництво виробів, скорочення витрат на сировину, зниження собівартості готової продукції. Міцність виробів при введенні золи підвищується на 15-60 % (відповідно збільшується марка виробів). Середня щільність не перевищує 1500 кг/м<sup>3</sup>, витрата технологічного палива знижується на 20-70 %, цикл сушіння цегли-сирцю скорочується більш ніж на 20 % [176].

У виробництві силікатної цегли зола виносу застосовується як компонент в'язучого або заповнювача, і в свою чергу слугує як кремнеземна добавка і водночас здійснює пластифікацію суміші і збільшує міцність сирцю в півтора рази. Ефективність введення золи-виносу підвищується з ростом питомої поверхні вапняно-зольного в'язучого [177].

Зола виносу ТЕС на даний момент є перспективною сировинною базою цементної промисловості. Установка для сухого золовидалення побудовані на Бурштинській, Ладижинській, Кураховській, Здолбунівській ТЕС. Доцільним є використання золи виносу не тільки як активну мінеральну добавку при помелі клінкеру, а як сировинний компонент портландцементного клінкеру, в напрямку чого проведені дослідження в цій роботі.

Вирішення проблеми потребує розробки нових низькоенергоємних технологій переробки відходів теплоенергетики, представлених золами та шлаками ТЕС, які б забезпечували максимальний ступінь їхньої утилізації та гарантували можливість отримання будівельних матеріалів, безпечних для здоров'я людини. Незважаючи на те, що зазначені відходи використовуються для виробництва в'язучих речовин та бетонів різного типу, загальний обсяг їхньої утилізації залишається досить низьким. Частка золи в таких системах зазвичай не перевищує 25...35 мас. %. Існуючі технологічні рішення утилізації відходів не враховують особливостей їхнього складу та структури, передбачають традиційні способи переробки та не реалізують повною мірою потенційні властивості сировини.

Вирішення цього проблемного питання потребує відповідного розвитку науково-технічних засад хімічної технології силікатів із визначенням закономірностей щодо впливу концентрації різновидів техногенної сировини на структуроутворення та властивості силікатних матеріалів [178].

### **Експериментальна частина**

Об'єктом дослідження в даній роботі стала зола виносу Бурштинської ТЕС та сировинні суміші з її застосуванням для виготовлення портландцементу та цементу низькотемпературного випалу. Такий вибір обумовлюється можливістю розвитку технології цементу з дотриманням вимог ресурсозбереження по утилізації відходів промисловості.

Як карбонатні компоненти застосовували вапняк Дубовецького родовища Івано-Франківської обл. та крейду Здолбунівського родовища Рівненської обл., як кремнезем- і глиноземвмісні компоненти – глину Кривинського родовища Рівненської обл., глину спондилову Озерського родовища Київської обл., перліт Берегівського родовища Закарпатської обл. та золу виносу Бурштинської ТЕС (Івано-Франківська обл.).

Встановлено особливості хіміко-мінералогічного складу досліджуваної сировини (табл. 1).

**Таблиця 1. Хімічний склад сировини**

Сировина	Вміст оксидів, мас.%									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	в.п.п.
вапняк	3,13	0,06	1,05	-	52,82	0,52	0,10	-	-	42,32
зола виносу	46,12	18,00	22,17	1,78	4,03	1,46	0,21	-	2,10	1,49
крейда	0,77	0,25	0,13	-	55,0	0,25	0,08	-	-	43,49
глина кривинська	60,96	15,66	5,57	0,79	3,33	2,04	0,16	0,30	2,70	8,48
глина спондилова	53,62	8,87	3,26	0,10	14,60	2,00	1,26	0,29	2,36	13,72
перліт	72,08	12,92	1,50	0,90	0,88	0,63	-	3,76	4,33	3,0

За хімічним складом досліджувана зола виносу із вмістом, мас. %: 46,12 SiO<sub>2</sub> і 4,03 CaO належить до типу кремнеземних або кислих. Наявність 2,5 мас. % вуглецю вказує на залишкову теплотворну здатність, підвищений вміст оксидів заліза обумовлює можливість зменшення максимальної температури спікання, що важливо для зменшення питомих витрат палива при випалі сировинних сумішей.

Від кривинської глини проба золи-винусу відрізняється дещо більшим вмістом Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (18,0 проти 15,6 мас.%) при суттєво меншому вмісті SiO<sub>2</sub> та співвідношенні SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,6 проти 3,9), значно більшим вмістом Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Спондилова глина відрізняється від кривинської та золи виносу підвищеним вмістом CaO, меншим вмістом оксидів алюмінію при кількісному співвідношенні SiO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 6.

Хімічний склад досліджуваної проби перліту відзначається високим вмістом  $\text{SiO}_2$  при кількісному співвідношенні  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 6 : 1$  та лужних оксидів типу  $\text{R}_2\text{O} = 8,09$  мас. %.

Аналіз мінералогічного складу досліджуваної сировини, проведений з застосуванням дифрактометра ДРОН – 3, показав, що зола виносу відзначається наявністю склофази та кристалічних фаз, головним чином - кварцу, муліту (рис. 1).

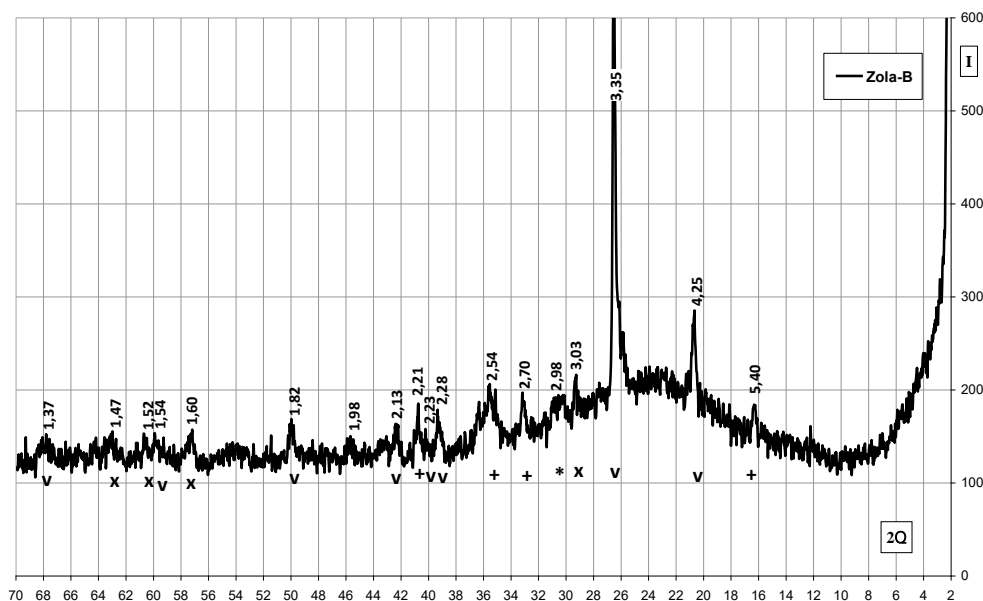


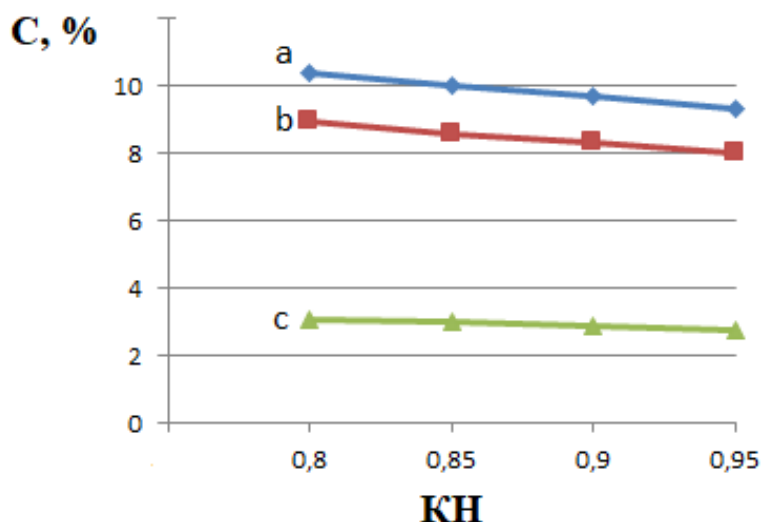
Рисунок. 1. Дифрактограма золи виносу: v-кварц, +-муліт, x-кальцит

Перліт характеризується розвинутою склофазою із кристалічними включеннями кварцу та польового шпату: кривинська та спондилова глини відносяться до групи полімінеральних, при цьому спондилова відрізняється підвищеним вмістом кальциту.

### **Виготовлення цементного клінкеру на основі системи вапняк-глина-зола виносу**

Розрахунки та аналіз складу сировинних сумішей для виготовлення цементного клінкеру проводили з використанням створеної комп'ютерної програми «Клінкер» [179]. Це дозволило оперативно визначити раціональні співвідношення компонентів у вихідній сировинній суміші за заданими значеннями коефіцієнту насичення КН та кремнеземного  $n$  модулю.

За результатами комп'ютерних розрахунків у сумішах на основі системи вапняк –глина – зола виносу в інтервалі значень коефіцієнта насичення  $KH = 0,80-0,95$  можливий вміст золи виносу становить від 2,8 до 10,4 мас. % (рис. 2). При цьому очевидно, що можливий вміст досліджуваних відходів зменшується із збільшенням заданих значень  $KH$  і  $n$ .



**Рисунок. 2. Залежність вмісту золи виносу ( $C_1$ ) в суміші на основі системи вапняк – глина від коефіцієнту насичення  $KH$  клінкеру при кремнеземному модулі  $n=1,9$  (a),  $n=2,0$  (b) і  $n=2,5$  (c).**

Для подальшого дослідження було обрано сировинну суміш 10Т, що при  $KH=0,85$  відповідає рекомендованим значенням кремнеземного  $n=2,0$  та глиноземного  $p=1,0$  модулів характеризується вмістом 8,5 мас.% відходів теплоенергетики (табл. 3).

**Таблиця 3. Склад сировинної суміші**

Код суміші	Вміст компонентів, мас. %		
	вапняк	глина	зола виносу
10Т	79,0	12,5	8,5

За хімічним складом досліджувана суміш характеризується кількісними співвідношеннями оксидів  $SiO_2 : Al_2O_3 = 3,9$ ,  $CaO : SiO_2 = 2,9$ ,  $CaO : Al_2O_3 = 11,3$

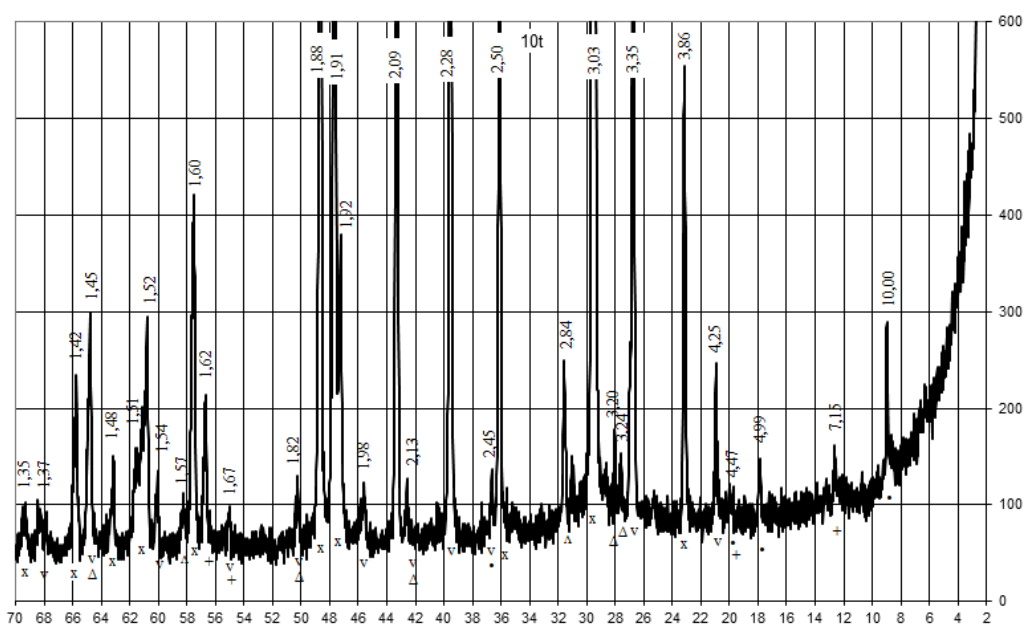
при вмісті оксидів заліза 3,6 % (табл. 4). Вказані особливості хімічного складу багато в чому визначають вірогідність фазових перетворень при термічній обробці суміші та властивості матеріалу після випалу.

**Таблиця 4. Хімічний склад сировинної суміші**

Назва проби	Вміст оксидів, мас. %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	В.п.п	Сума
10Т	14,70	3,75	3,60	42,42	0,81	0,12	34,60	100,0

Результати рентгенофазового аналізу показують особливості фазових перетворень при випалі досліджуваної сировинної суміші (рис. 3,4). Очевидно, що вихідна суміш характеризується превалюючим вмістом кальциту та кварцу з наявністю домішок гідрослюди, каолініту і польових шпатів.

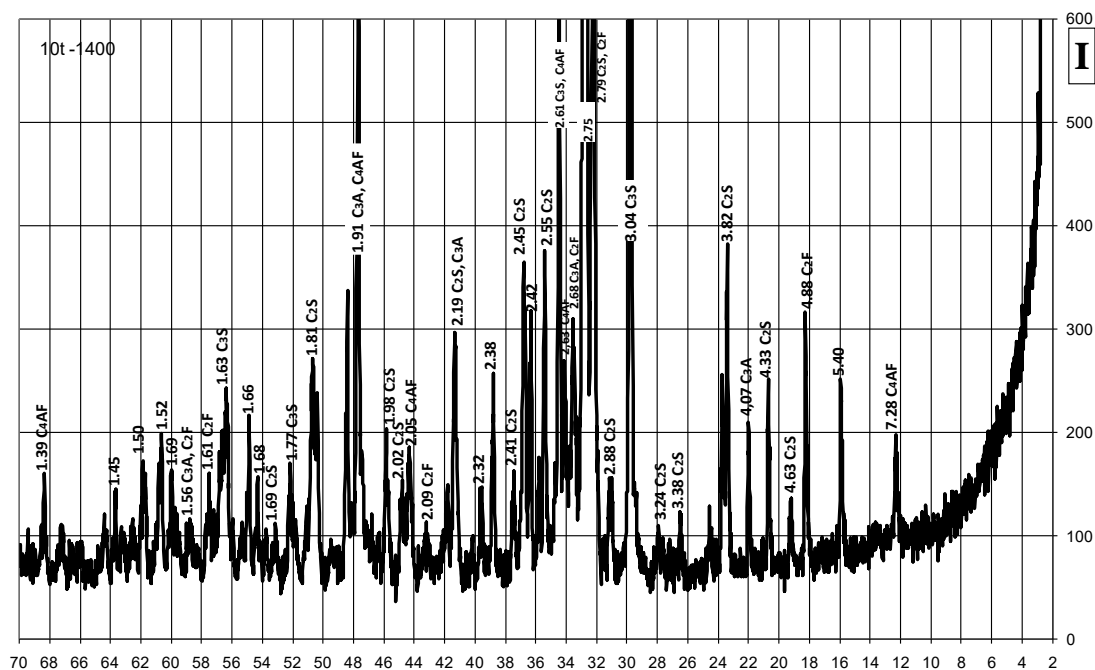
Після випалу на максимальній температурі 1400 °С має місце повне руйнування кристалічних ґраток вказаних породоутворюючих мінералів сировинних компонентів, утворення нових кристалічних фаз та склофаз. Клінкер із суміші 10Т характеризується переважним розвитком C<sub>2</sub>S при суттєво меншому C<sub>3</sub>S, певним розвитком алюмо- і залізовмісних фаз, в тому числі C<sub>2</sub>F за характерними рефlekсами 4,88, 2,05 Å.



**Рисунок 3. Дифрактограма проби сировинної суміші 10Т:**

х-кальцит, v-кварц, +-каолініт, •-гідрослюда, Δ-польовий шпат, λ-доломіт





**Рисунок 4. Дифрактограма проби клінкеру 10Т**

За результатами технологічних тестувань після випалу на максимальну температуру 1400 °С згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 “В’яжучі мінеральні” [180] отриманий матеріал відносяться до групи середньої міцності (30-50 МПа), а за швидкістю тужавлення - до групи швидкотужавіючих (термін початку від 15 до 45 хв.), характерними представниками якої вважаються ангідритовий і глиноземистий цемент (табл. 5).

**Таблиця 5. Властивості цементу**

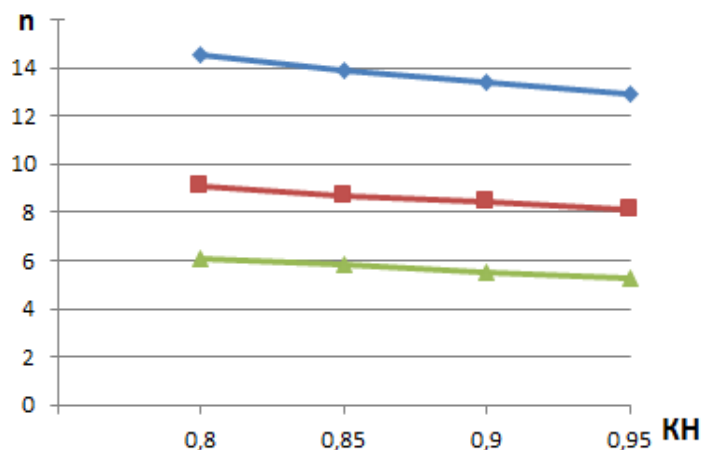
Код проби	Температура випалу, °С	Терміни тужавлення		Міцність на стиск, МПа	
		початок, хв.	кінець, год.	2 доби	28 діб
10Т	1400	30	11,5	9	34,0

### **Аналіз системи крейда – перліт – зола виносу**

Для виготовлення цементного клінкеру було досліджено суміші на основі систем вапняк – перліт – зола виносу Бурштинської ТЕС. Відзнакою такої системи є застосування природної і техногенної сировини одного регіону, але різного генезису.

За результатами комп’ютерних розрахунків у сумішах на основі системи вапняк –глина – зола виносу в інтервалі значень коефіцієнта насичення

$KH = 0,80-0,95$  можливий вміст золи виносу становить від 5,3 до 14,5 мас. % (рис. 5). При цьому очевидно, що можливий вміст досліджуваних відходів зменшується із збільшенням заданих значень  $KH$  і  $n$ .



**Рисунок 5.** Залежність вмісту золи виносу ( $C_1$ ) в суміші на основі системи вапняк – перліт від коефіцієнту насичення  $KH$  клінкеру при кремнеземному модулі  $n=1,9$  (а),  $n=2,5$  (б) і  $n=5,0$  (с).

Для дослідження було обрано сировинну суміш 09-2, що при вмісті 8,4 мас.% золи виносу відповідає рекомендованим для цементу характеристикам:  $n=2,5$ ,  $p=1,6$  (табл. 6).

**Таблиця 6.** Склад досліджуваних сумішей

Код суміші	Крейда Зд.	Перліт	Зола виносу
09-2	79,0	12,6	8,4

Аналіз хімічного складу досліджуваних сумішей свідчать, що при кількісному співвідношенні перліту і золи виносу 1,5 : 1 проба 09-2 характеризується співвідношеннями  $SiO_2 : Al_2O_3 = 4,1$ ,  $CaO : SiO_2 = 3$ ,  $CaO : Al_2O_3 = 12,2$  при вмісті оксидів заліза 2,3 % (табл. 7).

**Таблиця 7.** Хімічний склад сировинної суміші

Код проби	Вміст оксидів, мас. %						
	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	CaO	MgO	$SO_3$	в.п.п
09-2	14,76	3,61	2,30	43,93	0,42	0,08	34,90

Хімічний склад клінкеру із досліджуваних сумішей корелюється з їх вихідним складом (табл. 8).

Таблиця 8. Хімічний склад клінкеру

Код проби	Вміст оксидів, мас. %					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
09-2	22,67	5,55	3,53	67,48	0,65	0,12

Рентгенофазовий аналіз проби 09-2 з 12,6 мас. % перліту та 8,4 мас.% золи виносу дозволив дослідити процес фазоутворення клінкеру в інтервалі максимальних температур випалу 1200 – 1400 °С (рис. 6, 7).

Встановлено, при збільшенні максимальної температури випалу від 1200 до 1400 °С матеріал відрізняється:

- щодо кристалічних фаз силікатів кальцію – утворенням C<sub>3</sub>S (1,45, 1,49, 1,86, 2,19, 3,02 Å) та воластоніту CS (2,97 Å);
- щодо кристалічних фаз алюмосилікатів кальцію - значно меншим утворенням геленіту C<sub>2</sub>AS (2,86, 2,41, 2,13 Å);
- щодо кристалічних фаз алюмінатів кальцію – значним утворенням C<sub>3</sub>A (2,70 Å); при мінімізації кількості майєніту C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> (4,90 Å).

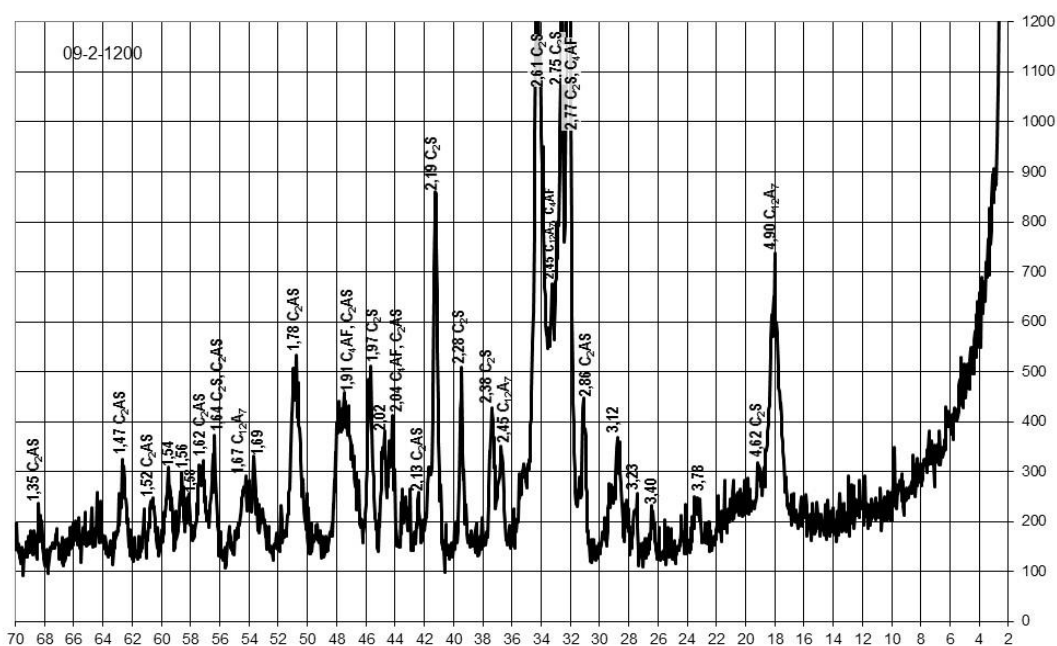
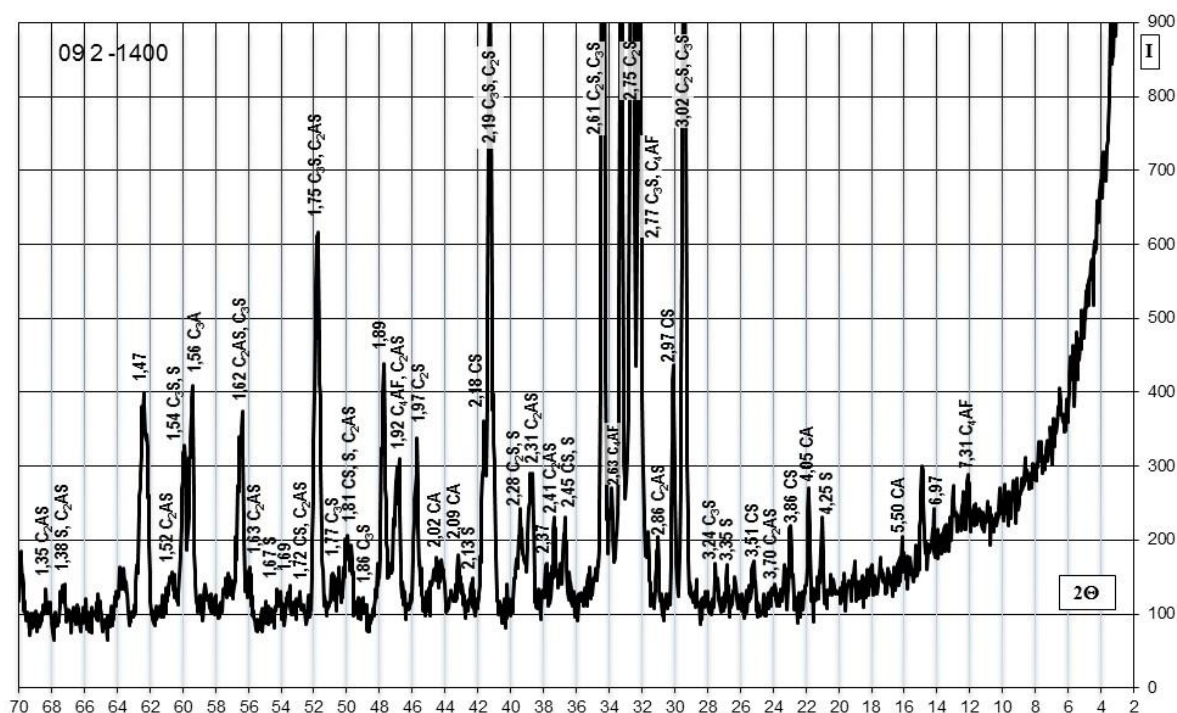


Рисунок 6. Дифрактограма проби 09-2 при випалі на 1200 °С



**Рисунок 7. Дифрактограма проби 09-2 при випалі на 1400 °С**

Згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 за швидкістю тужавлення після випалу на максимальну температуру 1200 °С проба 09-2 відноситься до групи надшвидкотужавіючих (термін початку до 15 хв.), характерними представниками якої вважаються розширювальний і напругаючий цемент (табл. 9).

Після випалу на максимальну температуру 1400 °С проба 09-2 відноситься до групи нормальнотужавіючих (термін початку від 45 хв. до 2 год.), характерними представниками якої вважаються портландцемент і шлакопортландцемент.

**Таблиця 9. Властивості в'язучого матеріалу**

Показники		Код проби та температура випалу	
		09-2	
		1200 °С	1400 °С
Тонкість помелу, залишок на ситі 008, мас. %		7	7
Терміни тужавлення, хв.	початок	5	90
	кінець	35	150
Міцність на стиск через 28 діб, МПа		27,4	39,2

### **Виготовлення мінерального в'язучого низькотемпературного випалу**

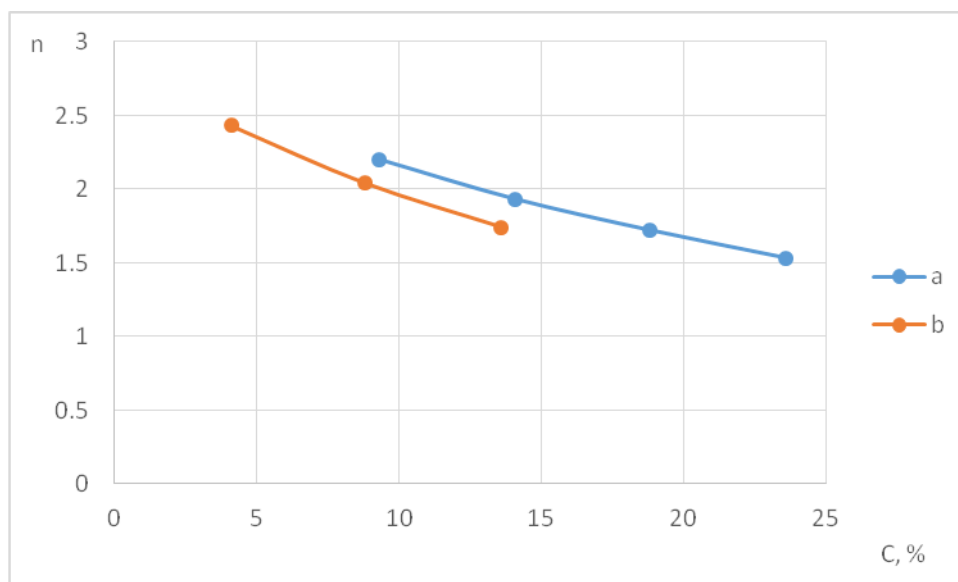
Виробництво портландцементу, який широко використовується у будівельній індустрії, відзначається значною енергоємністю, пов'язаною з випалом клінкеру при максимальній температурі понад 1400 °С та тонким помелом кінцевого продукту. Це має забезпечити формування при випалі вихідної сировинної суміші певного фазового складу клінкеру, необхідну дисперсність при його помелі та високі фізико-механічні показники цементу.

Висока енергоємність портландцементу обумовлює його ринкову вартість з відповідним збільшенням собівартості матеріалів і конструкцій з використанням такого в'язучого. Звідси посилюється доцільність виготовлення в'язучого матеріалу аналогічного романцементу, технологія якого потребує суттєво менших енерговитрат, проте навіть при обмеженій марочності може знайти практичне використання [181, 182] з одночасним вирішенням питань ефективності виробництва та ресурсозбереження.

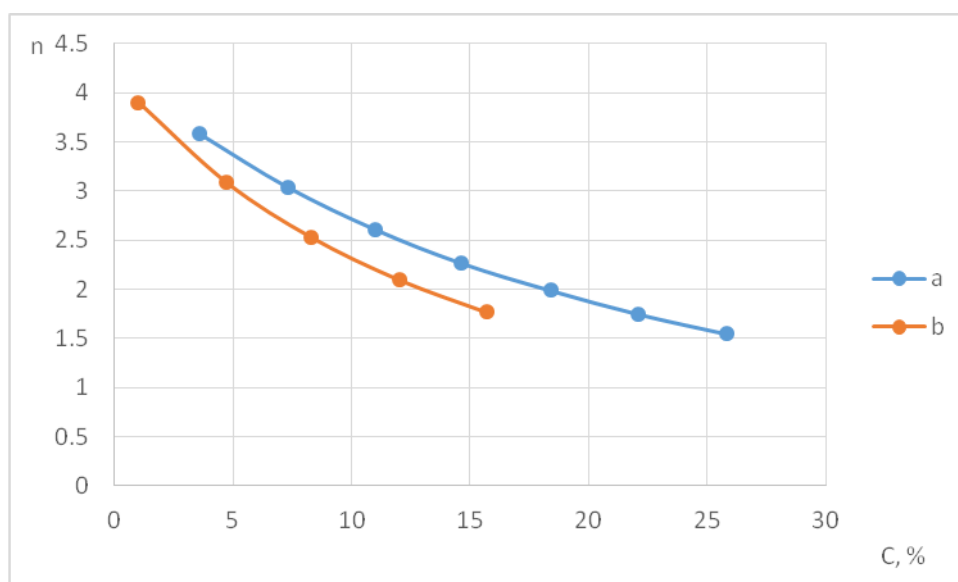
Склад сировинних сумішей для виготовлення в'язучого визначали з використанням створеної комп'ютерної програми «РоманЦемент» [183] згідно з відомими щодо гідравлічного модулю романцементу в інтервалі 1,1 – 1,7.

$$HM = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

На основі проведених комп'ютерних розрахунків встановлено, що у вказаному інтервалі НМ необхідні кількісні співвідношення компонентів та можливий вміст золи виносу залежать від різновиду глинистої сировини при цьому між вмістом досліджуваної техногенної сировини та значенням кремнеземного модулю існує обернено пропорційна залежність (рис. 5,6).



**Рисунок 5. Залежність кремнеземного модуля  $n$  від концентрації золи виносу  $C$  в суміші на основі системи вапняк-глина кривинська при  $НМ=1,1$  (a) і  $НМ=1,7$  (b)**



**Рисунок 6. Залежність кремнеземного модуля  $n$  від концентрації золи виносу  $C$  в суміші на основі системи вапняк-глина спондилова при  $НМ=1,1$  (a) і  $НМ=1,7$  (b)**

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

За результатами розрахунків при використанні кривинської глини можливий вміст золи виносу становить від 4,1 до 23,6 мас.%. Проте рекомендовані для цементу значення кремнеземного модулю ( $n=1,9-3,0$ ) обмежуються максимальною концентрацією 14,1 мас.% при  $HM=1,1$  та 8,8 мас. % при  $HM=1,7$ .

При використанні спондиової глини можливий вміст золи виносу становить від 1,0 до 25,8 мас. %. Проте рекомендовані для цементу значення кремнеземного модулю обмежуються інтервалом концентрації 7,3 - 18,4 мас.% при  $HM=1,1$  та 4,7 - 12,0 мас.% при  $HM=1,7$ .

Прийняті для дослідження суміші при рівній концентрації різновидів глинистої сировини відрізняються вмістом золи виносу та відповідають рекомендованим значенням гідравлічного та кремнеземного модулів (табл. 10).

Вказаним змінам різновидів і кількісного співвідношення компонентів відповідають відмінності хіміко-мінералогічного складу 3-компонентних сумішей.

**Таблиця 10. Склад сировинних сумішей**

Код суміші	Вміст компонентів, мас. %			
	Вапняк	Глина		Зола виносу
		сподилова	кривинська	
16-1	59,0	30,0	-	11,0
16-2	65,5	-	30,0	4,5

Щодо хімічного складу (табл. 11) – при незначних відмінностях у вмісті  $CaO$  та  $SiO_2$  суміші із спондиловою глиною відрізняються від сумішей із кривинською глиною меншою кількістю  $Al_2O_3$  (3,46-4,88 проти 4,10-5,79 мас.%) і більшим  $Fe_2O_3$  (3,40-4,22 проти 2,93-3,50 мас.%).

Таблиця 11. Хімічний склад сумішей

Код суміші	Вміст оксидів, мас. %				
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
16-1	36.16	23.78	4.88	4,22	1,09
16-2	35.81	23.28	5.79	3,50	1,05

Щодо мінералогічного складу (рис. 7,8, табл. 12) – в інтервалі заданих значень гідравлічного модулю  $HM = 1,1 - 1,7$  суміші із спондиловою глиною у порівнянні із кривинською глиною при рівному вмісті кальциту відрізняються меншим вмістом каолініту, монтморилоніту, польового шпату і гідроксидів заліза при більшій кількості гідрослюди, кварцу та муліту.

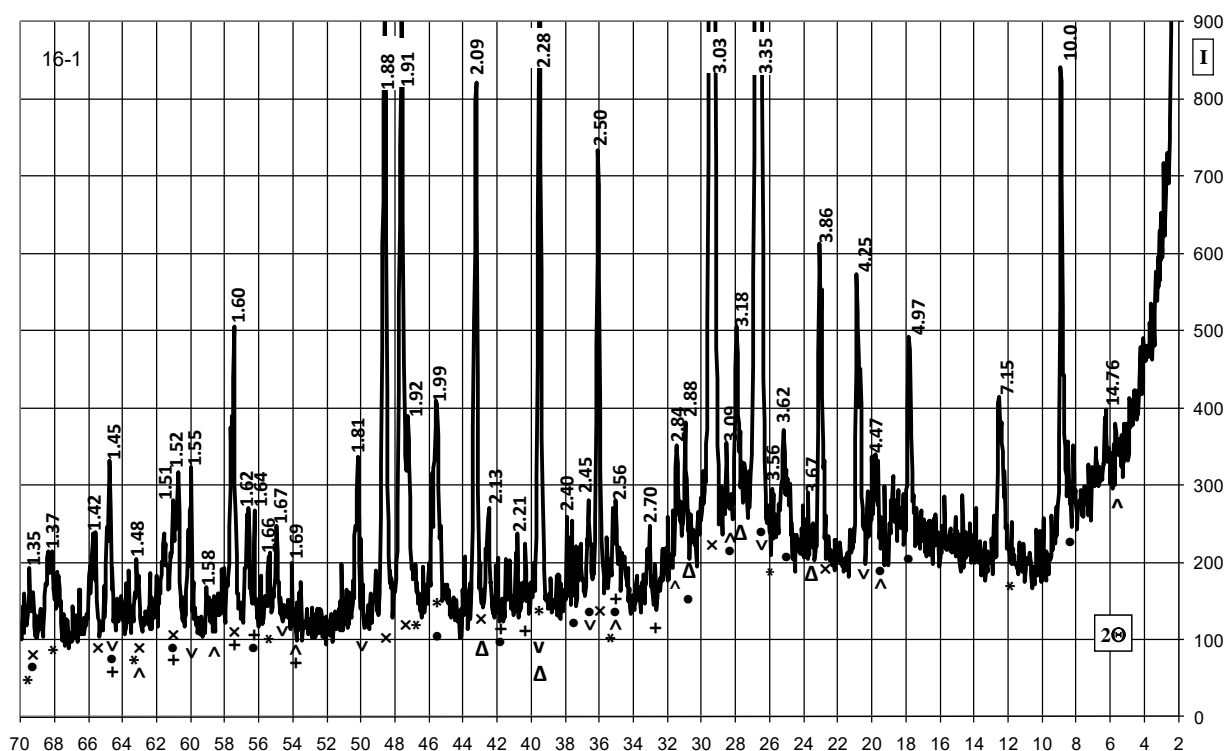
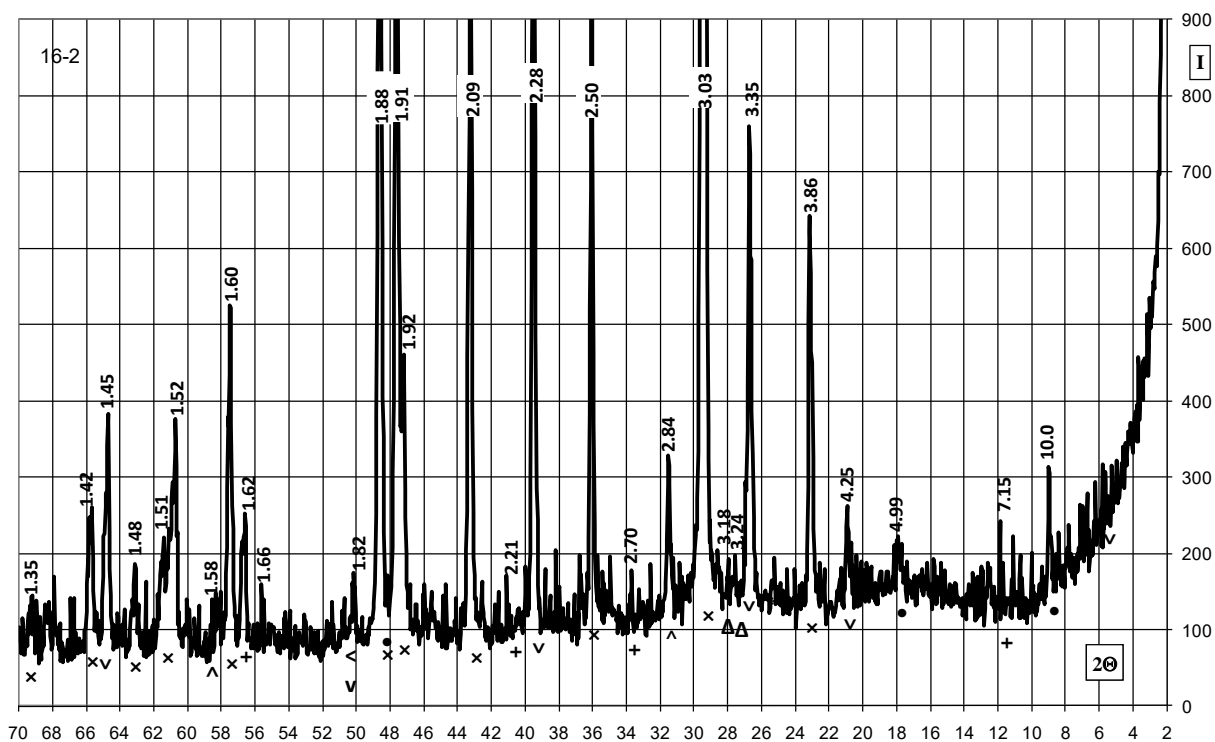


Рисунок 7. Дифрактограма сировинної суміші 16-1:

x кальцит, □ доломіт v кварц, \* каолініт, ● гідрослюда, Δ польовий шпат





**Рисунок 8. Дифрактограма сировинної суміші 16-2:**

x кальцит, □ доломіт v кварц, \* каолінит, ● гідрослюда, Δ польовий шпат

**Таблица 12. Мінералогічний склад сумішей**

Код суміші	Вміст мінералів, мас.%							
	каль- цит	каолі- ніт	гідро- слюда	монт- морило- ніт	кварц	пол. шпат	гідро- киси заліза	муліт
16-1	63,0	0,9	5,2	6,0	15,1	0,8	1,8	2,8
16-2	62,4	3,0	3,3	9,0	12,0	3,2	2,6	1,1

### **Аналіз фазового складу та властивостей при випалі сумішей**

Аналіз досліджуваних 3-компонентних сумішей на основі вапняку з різновидами глинистого компоненту та добавки золи-виносу показав відмінності їх фазового складу після випалу з максимальною температурою 1050 °С.

Так, проба 16-1 із спондиловою глиною характеризується (за наявності гало на дифрактограмі) відносно більшим розвитком склофази, кристалічних фаз геленіту  $C_2AS$ ,  $C_3A$ ,  $C_{12}A_7$  (рис. 9).

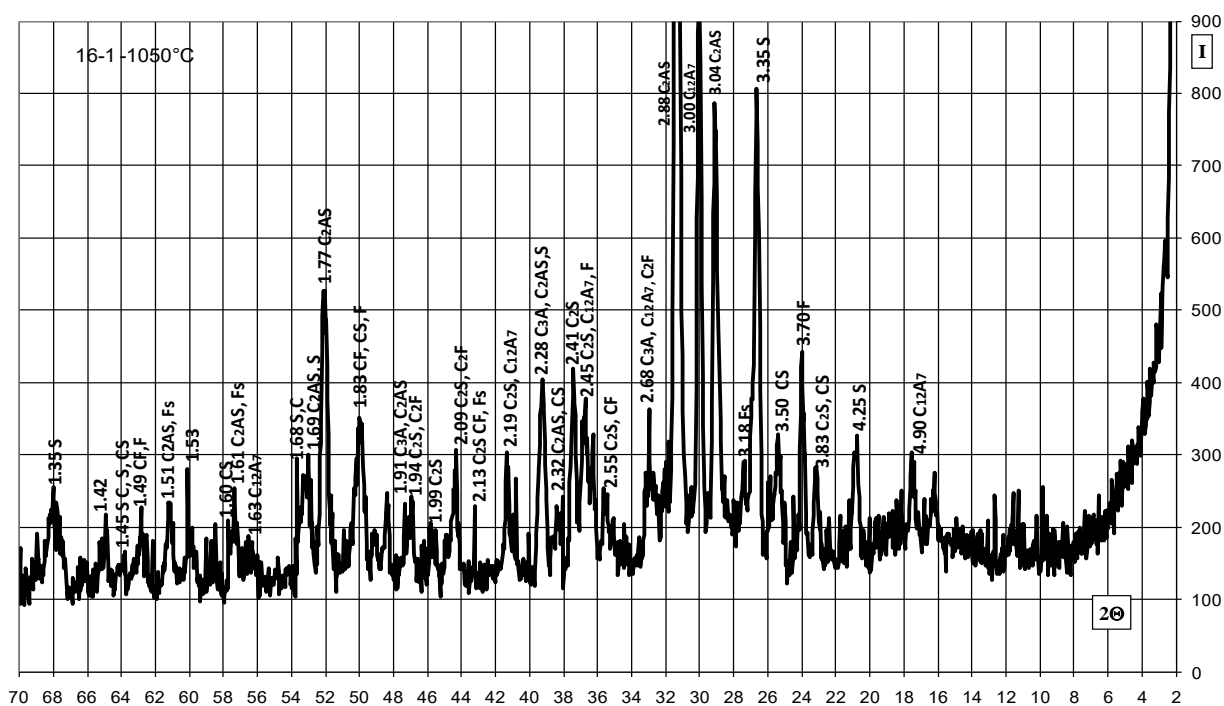


Рисунок 9. Дифрактограма матеріалу з суміші 16-1 при випалі на 1050 °С

Проба 16-2 з кривинською глиною відзначається більшим, ніж 16-1 розвитком  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_{12}A_7$ , при меншій кількості кварцу (рис. 10).

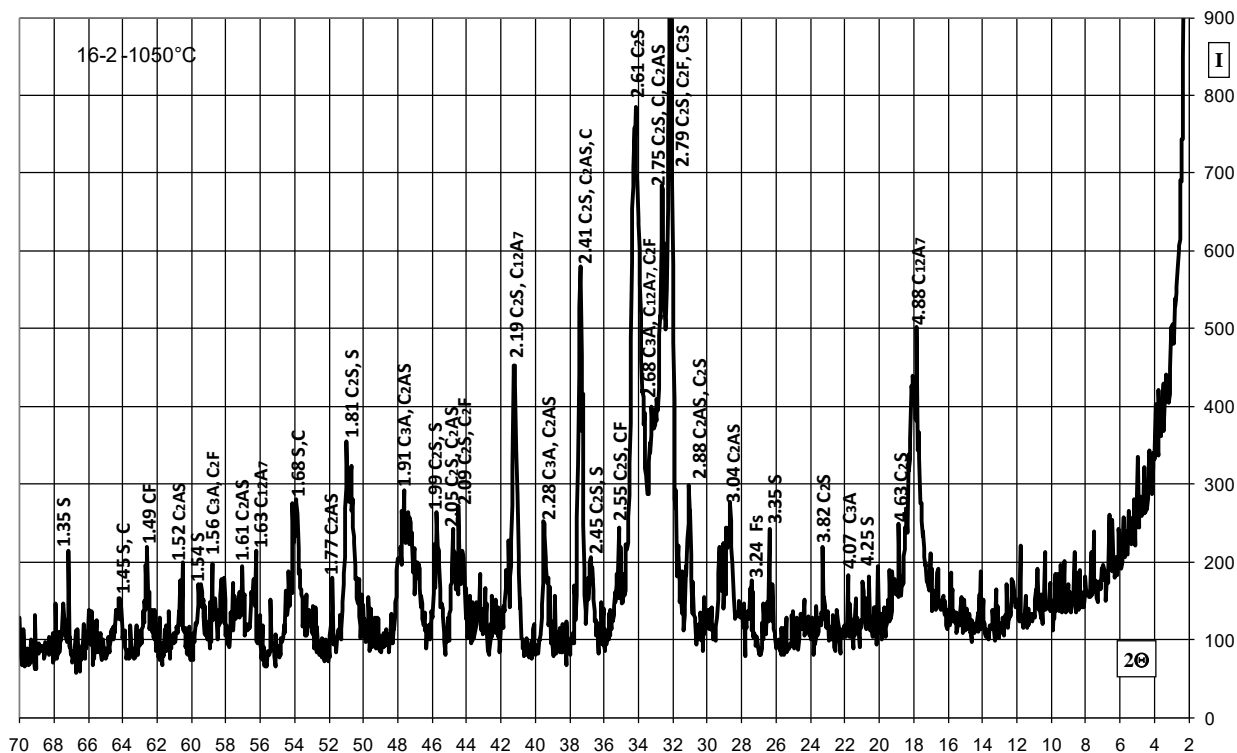


Рисунок 10. Дифрактограма матеріалу з суміші 16-2 при випалі на 1050 °С

Тестування технологічних властивостей мінерального в'язучого із застосуванням різновидів глинистого компоненту показало суттєві відмінності

(табл. 13). Так, для проб в'язучого показники початку тужавлення знаходяться в інтервалі 5-90 хв., показники кінця тужавлення – в інтервалі 25-190 хв. Для розчину показники початку тужавлення знаходяться в інтервалі 5-65 хв., показники кінця тужавлення – в інтервалі 35-110 хв.

Отримані результати тестувань розчину свідчать, що згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 за швидкістю тужавлення проба 16-1 із спондиловою глиною відноситься до групи нормальнотужавіючих (термін початку від 45 хв. до 2 год.), проба 16-2 із кривинською глиною - до групи швидкотужавіючих (термін початку від 15 до 45 хв.), проба 16-3 з каоліном КССК – до групи надшвидкотужавіючих (термін початку не пізніше 15 хв.)

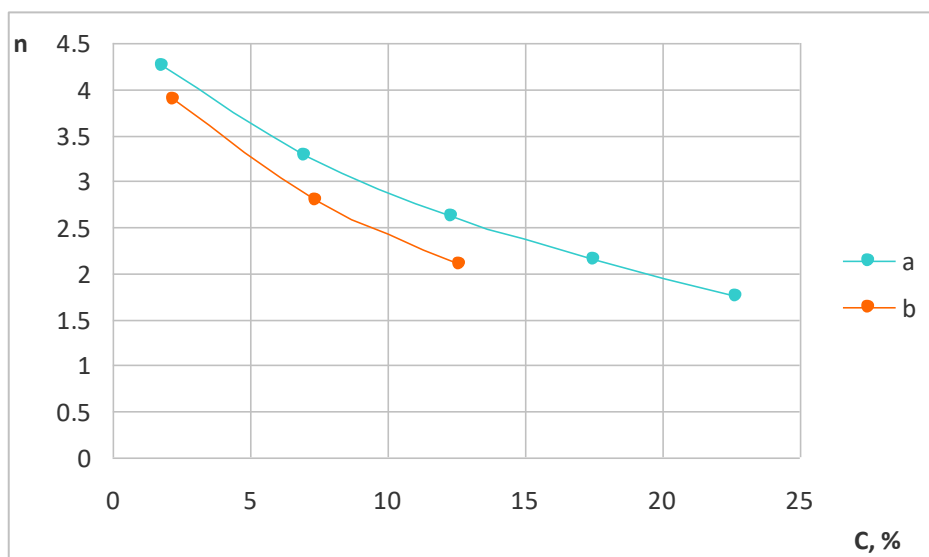
**Таблиця 13. Властивості в'язучого матеріалу**

Показники		Код проби	
		16-1	16-2
Тонкість помелу, залишок на ситі 008, мас. %		7	8
Терміни тужавлення, хв.	початок	95	40
	кінець	190	100
Міцність на стиск через 28 діб, МПа		28,9	29,2

Згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 за швидкістю тужавлення проба 16-1 вважається характерною для портландцементу і шлакопортландцементу, проба 16-2 – характерною для ангідритового і глиноземистого цементу.

#### **В'язучий матеріал на основі системи вапняк-перліт-зола виносу**

Результати комп'ютерних розрахунків показали, що при використанні 3-компонентних сумішей на основі системи вапняк – перліт – зола виносу можливий вміст золи виносу становить від 2 до 23 мас.% при гідравлічному модулі  $HM=1.10$  та від 2 до 13 мас.% при гідравлічному модулі  $HM=1.70$  (рис. 11).



**Рисунлк 11. Рс 5 Залежність кремнеземного модуля  $n$  від концентрації золи виносу  $C$  в суміші на основі системи вапняк-перліт при  $HM=1,1$  (a) і  $HM=1,7$  (b)**

При цьому в інтервалі концентрацій золи виносу  $C=7-18$  мас. % при  $HM=1,10$  та  $C=7-13$  мас. % при  $HM=1,70$  в'яжучий матеріал характеризується числами кремнеземного та глиноземного модулів, що відповідають рекомендованим показникам для цементу

Визначено, що варіювання кількісним співвідношенням компонентів сировинної суміші на основі системи вапняк-перліт-зола виносу супроводжується суттєвими змінами хімічного складу (табл. 14, 15).

**Таблиця 14. Хімічний склад сировинних сумішей при  $HM=1,1$**

Вміст золи виносу, мас. %	Вміст оксидів, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	в.п.п
1,8	26,78	4,65	1,64	36,40	0,58	0,07	29,88
22,7	21,22	5,83	6,25	36,62	0,77	0,12	29,19

**Таблиця 15. Хімічний склад сировинних сумішей при  $HM=1,7$**

Вміст перліту, мас. %	Вміст оксидів, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	в.п.п
2,2	19,37	3,31	1,67	41,38	0,57	0,08	33,62
12,6	16,56	3,90	3,96	41,51	0,67	0,11	33,29

При заданому гідравлічному модулі  $HM=1,1$  та  $HM=1,7$  із можливим зростанням вмісту золи виносу має місце зменшення кількості  $SiO_2$  та співвідношення  $SiO_2 : Al_2O_3$ , зменшення вмісту оксидів заліза.

### Фазовий склад і властивості в'язучого матеріалу

Для дослідження особливостей фазового складу та властивостей мінерального в'язучого на основі системи вапняк – перліт – зола виносу було обрано проби 40м і 42м, склад яких після випалу має забезпечити рекомендовані значення кремнеземного модулю ( $n$ ) 2,1 і 2,8 та глиноземного ( $p$ ) 1,1 і 1,3 (табл. 16).

**Таблиця 16. Склад сировинних сумішей**

Код суміші	Вміст компонентів, мас. %		
	вапняк	перліт	зола виносу
40м	67,5	15,0	17,5
42м	77,6	15,0	7,4

Кількісному співвідношенню компонентів відповідають відмінності хіміко-мінералогічного складу 3-компонентних сумішей.

Аналіз хімічного складу досліджуваних сумішей свідчать, що при більшому вмісті золи виносу проба 40м відрізняється від 42м меншим вмістом оксиду кальцію, більшою кількістю оксидів кремнію, алюмінію та заліза (табл.17).

**Таблиця 17. Хімічний склад сумішей**

Код суміші	Вміст оксидів, мас. %				
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
40м	36.57	22.61	5.53	5.10	0.72
42м	41.44	17.96	3.61	2.82	0.62

Рентгенофазовий аналіз проб показав, що при приблизно однаковому якісному складі мають певні відмінності в кількісному співвідношенні окремих фаз (рис. 12, 13).

Виявлено, що при однаковому вмісті перліту із збільшенням кількості золи виносу та проба 40м відрізняється від 42м:

- щодо кристалічних фаз силікатів кальцію - більшим утворенням волластоніту CS (2,97 Å) та C<sub>2</sub>S (2,61 Å);

- щодо кристалічних фаз алюмосилікатів кальцію - більшим утворенням геленіту  $C_2AS$  (2,86 Å).

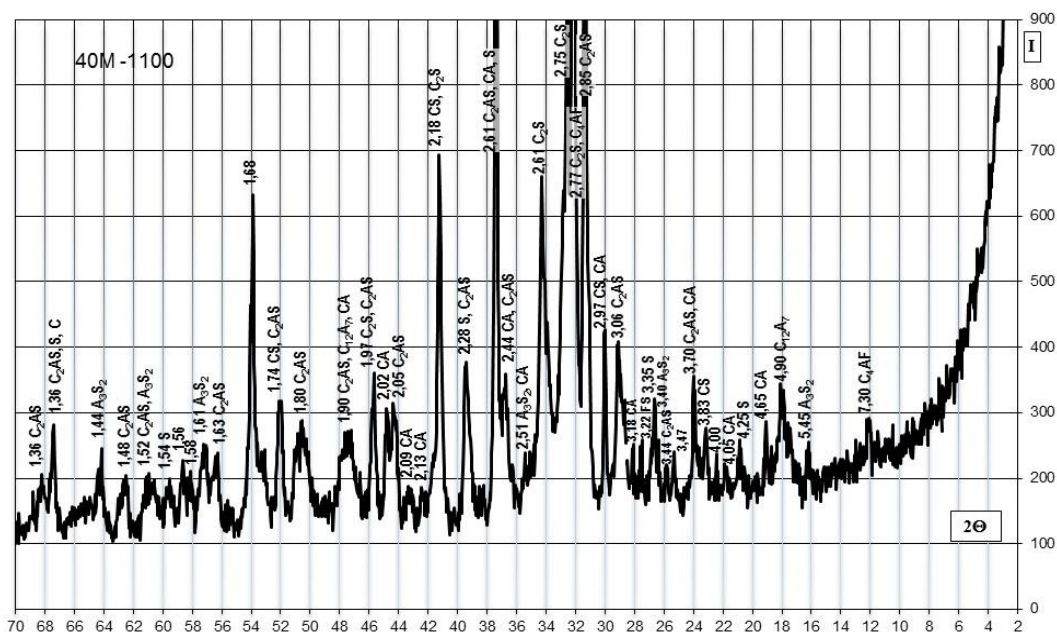


Рисунок 12. Дифрактограма проби в'яжучого 40М при випалі на 1100 °С

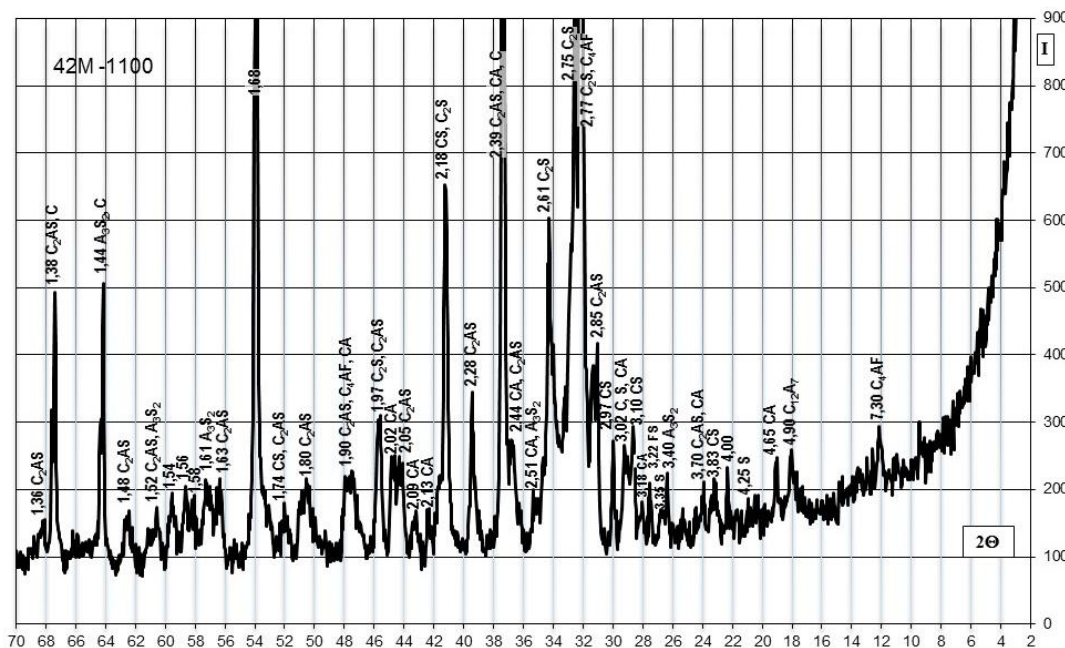


Рисунок 13. Дифрактограма проби в'яжучого 42М при випалі на 1100 °С

Згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 після випалу на 1100 °С за швидкістю тужавлення досліджувані проби в'яжучого на основі системи вапняк – перліт – зола виносу відносяться до групи швидкотужавіючих (термін початку від 15 до 45 хв.), характерними представниками якої вважаються ангідритовий та глиноземистий цементи (табл. 18).

**Таблиця 18. Властивості в'язучого матеріалу**

Показники		Код проби	
		40м	42м
Тонкість помелу, залишок на ситі 008, мас. %		7	8
Терміни тужавлення, хв.	початок	20	40
	кінець	65	70
Міцність на стиск через 28 діб, МПа		24,7	22,4

### **Висновки**

1. Використання багатотоннажних відходів промисловості – золи виносу ТЕС як техногенної сировини є перспективним у масоємному виробництві мінеральних в'язучих матеріалів. При цьому, в тому числі для виготовлення вихідних сировинних сумішей.

2. Можлива кількість золи виносу у вихідних сировинної бази їх сумішах залежить типу мінеральних в'язучих та основної сировинної бази їх виробництва різновидів карбонатних та кремнезем глиноземистих компонентів:

- при виготовленні клінкеру можливий вміст техногенної сировини становить 2,8-10,4 мас. % при використанні системи вапняк-глина- зола виносу та 5,3-14,5 мас.% при використанні системи крейда-перліт- зола виносу;

- при виготовленні в'язучого матеріалу низькотемпературного випалу можливий вміст техногенної сировини становить 4,0-18,4 мас. % при використанні системи вапняк-глина-зола виносу та 5,3-14,5 мас. при використанні системи вапняк-глина-зола виносу та 7,0-18,0 мас. % при використанні системи вапняк-перліт-зола виносу.

3. Встановлено особливості фазоутворення при випалі досліджуваних сумішей, що залежать від хіміко-мінералогічного складу компонентів та максимальної температури випалу і проявляються у диференціації ступеню розвитку і кількісного співвідношення клінкерних фаз.

## **2.2 Каротиновмісні препарати при А- гіповітамінозному стані у тварин та шляхи їх усунення**

При сучасній інтенсивній технології у тваринництві гіповітамінози є провідним фактором порушення обміну речовин, зниження природної резистентності та імунної реактивності організму. При дефіциті вітамінів відбуваються функціональні зміни в органах та тканинах, що може призвести до розвитку в них патологічних процесів та різних захворювань. На організм тварин та птахів особливо негативно впливає нестача в кормах вітаміну А та його попередника каротину. Дефіцит вітаміну А та каротину в раціонах призводить до народження нежиттєздатного приплоду, гіпотрофії, підвищеного відходу. Ключовою ланкою у профілактиці А-гіповітамінозних станів є введення в раціони тварин біологічно активних речовин, що містять інгредієнти, що мають високу біологічну доступність, антиоксидантні властивості та підвищують природну резистентність організму [184-186]. До них відносяться бета-каротин, хлорофіл, вітамін Е та інші речовини. На тлі збалансованих за поживними та біологічно-активними речовинами раціонів, у молодняку часто зустрічаються А-гіповітамінози, причому додаткове введення різних вітамінних препаратів не призводить до усунення даної патології.

Високу ефективність мають каротинвміщуючі рослинні ресурси, застосування яких коригує А-вітамінне харчування тварин і птахів підвищуючи фактори неспецифічного захисту організму. Пошуки нових форм препаратів, що містять каротин, та мають високу біологічну доступність і фармакологічну ефективність, які могли б замінити дорогі імпорتنі аналоги, є одним з головних напрямів наукових досліджень теперішнього часу.

Мета роботи полягала у розробці нового каротино-хлорофілового препарату на основі рослинної сировини, вивченні її фармакологічних властивостей та лікувально-профілактичної ефективності при А-гіповітамінозі. Оскільки каротин дуже схильний до процесів окислення внаслідок чого його



фізіологічний вплив може падати, необхідно вирішити завдання захисту його від окислення.

Слід зазначити, що деякі рослинні продукти накопичують у собі, поряд з каротином, переважні кількості будь-якого або декілько каротиноїдів (наприклад, лікопін у помідорах, кріптоксантин у жовтій кукурудзі та ін.) Кількість різних каротиноїдів, що утворюються в органах рослин, може бути різноманітною і іноді налічує кілька десятків окремих представників. Каротиноїди нині ще далеко не повністю вивчені. Більш-менш точні дані про будову та властивості відомі лише для основних пігментів цієї групи. Дані таблиці 1 свідчать про вплив вмісту вітаміну Е (токоферол) у оліях на біологічну цінність розчиненого в них каротину.

Таблиця 1  
Біологічна активність каротину в залежності від присутності токоферолу

Масло	Вміст токоферолу в мг%	Біологічна цінність
Оливкове рафіноване.....	0,08	44
Кокосове нерафіноване.....	0,03	45
Сезамове нерафіноване.....	0,05	44
Хлопкове нерафіноване.....	0,92	72
Льняне нерафіноване.....	0,23	61

Крім всіх факторів, на засвоюваність каротину тваринним організмом помітно впливає і ступінь попереднього насичення цього організму провітаміном А, а також і розміри дозування. Ресорбція каротину та вітаміну А в масляних розчинах при різних умовах протікає, приблизно, з однаковим кінцевим ефектом, якщо це стосується помірних дозувань. Однак великі кількості каротину не засвоюються так добре, як вітамін А, особливо це правильно, коли каротин вводиться без жиру або за низької жирової дієти. Швидкість ресорбції каротину та вітаміну А також не однакова, що залежить, мабуть, від величини молекули [187-190]. Біологічна активність каротину, тобто. ступінь здатності його чинити на організм таку ж дію, як і вітамін А, залежить ефективність процесу його засвоєння та нормальної функції конвертуючого апарату. Вітамін А,

ресорбується в кишечнику швидше за каротин і в збільшених дозах досконаліше. До того ж вітамін А як препарат надходить в організм виключно в жировому розчині. Етап конверсії при застосуванні вітаміну повністю відпадає. Каротин може вводитися в організм у найрізноманітнішому вигляді, виходячи з різних джерел. Таким чином А-вітамінна активність каротинових препаратів – функція багатьох змінних факторів.

Авітамінози та гіповітамінози А надзвичайно різноманітні. Вони виражаються у затримці розвитку та зростання організму, падіння у вазі, ураженні шкірних покривів і слизових оболонок і у пов'язаному з цим зниженням опірності інфекційним захворюванням, діяльності статевого апарату, ураженням дихальних шляхів та слизових оболонок носа та гортані та ін. Спочатку каротин та вітамін А вважалися факторами зростання. Відомо, що відсутність в їжі вітаміну А спричиняє припинення зростання молодих тварин і падіння їх ваги. Однак подібні явища спостерігаються і за відсутності інших вітамінів, деяких мінеральних солей, амінокислот та ін. Виявлена згодом властивість каротину та вітаміну А сприяти стійкості організму проти інфекційних захворювань дало право назвати вітамін А “антиінфекційним” [191-195].

Не слід, вважати, що фізіологічна дія каротину пов'язана тільки з фактом переходу його у вітамін А. У ряді випадків каротин, мабуть, має і с В останні роки знайдено перспективні продуценти каротину серед водоростей, грибів, дріжджів, бактерій та розроблено технології їхнього промислового культивування. Найлегше доступним і практичнішим джерелом залишаються рослини. Каротини та каротиноїди виявлені в листі багатьох рослин, а також у корені моркви, плодах шипшини та ін. амоційну фізіологічну дію. В даний час запропоновані для практичного використання високопродуктивні штами каротинсинтезуючих дріжджів *Rhodospiridium diobovatum*, встановлено вплив різних факторів на каротиногенез. Іншим перспективним продуцентом каротиноїдів можуть бути мікрободорості роду *Danuliella*, здатні накопичувати в клітинах від 57 до 69% лютеїну, 20% каротину, 11-24% ксантофілів віолосантинового циклу. Водорість *Danuliella salina*, пігменти якої, за деякими

даними, на 90% складаються з каротину, використовується як його джерело, а також для збагачення раціонів тварин каротином. *Spirulina platensis*, що культивується на спеціальних мінеральних середовищах, містить до 1700 мг/кг каротиноїдів. Крім того, перспективним джерелом каротиноїдів є мікрогриби *Blakeslea trispora* [196].

Суттєва властивість каротиноїдів - висока реакційна здатність. Вони дуже чутливі до дії світла, повітря, температури, при цьому каротиноїди руйнуються та утворюються їх окислені похідні. В організмі людини та тварин у процесі антиоксидантного захисту каротиноїди взаємодіють із вільними радикалами також із утворенням продуктів окислення. Частина продуктів, що утворюються в результаті цих процесів, була ідентифікована, проте біологічна активність цих речовин не досліджена. Також було показано, що, піддаючись в організмі людини і тварин дії ферментів діоксигеназ, провітамінні каротиноїди можуть розщеплюватися не тільки по центральному зв'язку з утворенням ретиналю, але й інших подвійних зв'язків з утворенням апо- $\rho$ -каротиналей. Ферменти, що здійснюють окислювальне розщеплення каротиноїдів, знайдені у цитозолі клітин кишечника, печінки та нирок різних тварин [197-199].

Пошуки нових форм каротинвмісних препаратів, що мають високу біологічну доступність і фармакологічну ефективність, які повною мірою могли б замінити дорогі імпорتنі аналоги, є одним з головних напрямів досліджень теперішнього часу. Виходячи з цього, нами спільно з вченими-хіміками НТУ «ХП» був розроблений новий вітаміновмісний каротино-хлорофіловий препарат, до складу якого увійшли мікробіологічний каротин із мікрогрибу *Blakeslea trispora*, хлорофіл, біофлавоноїдний комплекс кропиви та жиророзчинні вітаміни, який отримав умовну назву полікрап. Необхідно було випробувати препарат в умовах виробництва та ефективність використання препарату як лікувально-профілактичний засіб при гіповітамінозі поросят і курчат, - це оригінальна однорідна композиція, що складається з  $\beta$ -каротину, хлорофілу, біофлавоноїдного комплексу кропиви дводомної та вітамінів А, ДЗ, Е. У такому поєднанні відзначається синергізм інгредієнтів, висока біологічна

доступність бета-каротину, вітаміну А в організмі тварин, який має лікувально-профілактичну дію при А-гіповітамінозі молодняку свиней та птиці [200-202]. Робота виконувалась у 2004-2011 роках. в умовах лабораторії кафедри біотехнології Харківського зооветеринарної академії (нині біотехнологічний університет) спільно з кафедрою органічного синтезу та нанотехнологій НТУ «ХП». В експериментальній частині роботи було використано 30 курчат, 20 курей-несучок, у виробничих дослідах –16 поросят. • Про характер впливу каротинвмісного препарату на організм тварин судили щодо змін білкового, вуглеводного та мінерального обміну, інтенсивності росту та продуктивності тварин. Препарат є сипучою порошкоподібною масою або пастою оранжево-зеленого кольору, специфічного запаху, містить у своєму складі: хлорофіл кропиви – 1,5 мг/г; бета-каротин – 3,3 мг/г; біофлаваноїди кропиви – 0,02 мг/г; вітамін А – 500 МО/г; вітамін Дз – 250 МО/г; вітамін Е – 0,2 мг/г.

*Вивчення гепатопротекторних властивостей препарату*

Гострий токсичний гепатит вивчали на моделі з щурами. Його викликали внутрішньочеревним введенням білим щурам чотирьохлористого вуглецю на вазеліновому маслі з розрахунку 4,0 мл/кг маси тіла протягом 3-х діб одноразово. При цьому визначали профілактичну та лікувальну дію п Для проведення досліду було відібрано 4 групи білих безпородних щурів по 10 голів у кожній. Досліджуваний препарат додавали в корм з розрахунку 1 г/кг маси тіла, або у воду з розрахунку 1 мл/л води. Надходження чотирьохлористого вуглецю в організм щурів призводило до розвитку підвищення в сироватці крові АСТ та АЛТ, активності лужної фосфатази, зниження загального білка та альбумінів – синдромів ураження печінки (табл. 1-2).

Таблиця 2.  
Біохімічні показники крові щурів

Досліджені показники	контроль		дослід	
	1	2	3	4
	позитивний контроль (Вазелинове масло)	негативний контроль 4-х хлористий вуглевод	Препарат + 4-х хлористий вуглевод	карокрап + 4-х хлористий вуглевод
Загальний білок г/л	60,5±1,0	61,6±0,76	63,9±0,86*	61,0±0,87
Мочевина Mmol/L	5,7±0,62	6,9±0,59	6,3±0,74	4,9±0,80
Креатинін Мг/дл	0,4±0,31	0,34±0,29	0,3±0,36	0,3±0,33
Билирубин Мг/дл	2,7±0,54	2,48±0,39	2,45±0,44	2,5±0,42
Холестерин Mmol/L	1,49±0,13	1,2±0,12	1,3±0,15	1,38±0,11
Мочева кислота Мг/дл	4,3	3,1	2,9	3,3

Отримані дані свідчать про посилення процесів перекисного окислення ліпідів та послаблення функціонування антиоксидантної системи організму

Застосування щурам препарату в дозі 1,0 г/кг маси тіла на фоні експериментального токсичного гепатиту чинило виражену гепатопротекторну дію, що виявлялося зменшенням порушень функціонального стану печінки (ферменти переамінування та лужна фосфатаза знаходилися в межах фізіологічної норми та їх значення були достовірно нижчими за показник (на 11,4 та 26,7%, при  $p \leq 0,05-0,01$ ), де щурам вводили чотирихлористий вуглець). Застосування препарату, що містить каротин, практично повністю зупинило розвиток токсичного гепатиту в печінці тварин. Гепатопротекторну ефективність препарату можна пояснити наявністю в ньому антиоксидантів – рослинних біофлавоноїдних комплексів, бета-каротину та вітаміну Е.

Вивчалася можливість застосування препарату у свилярстві, як препарату, що стимулює зростання та продуктивність тварин, що підвищує деякі показники клітинного та гуморального імунітету. Про характер впливу на організм судили за клінічними показниками, змінами білкового, вуглеводного та мінерального обміну, загальної неспецифічної резистентності організму порослят, імунітету та

усунення гіповітамінозу-А. Показники визначали загальноприйнятими методами: кількість загального білка визначали за допомогою рефрактометра, кальцію та неорганічного фосфору методом рентгенофлюоресцентного аналізу [202-204]. Розробка та використання в раціонах поросят нових засобів, що мають високу біологічну доступність і дозволяють усунути проблему А-гіповітамінозу. Для оцінки фармакологічної дії препарату та визначення його оптимальних доз було сформовано 2 групи поросят 30-добового віку, по 10 голів у кожній. Перша група була контрольною. Дослідній групі додатково до раціону протягом 30 днів додавали досліджуваний препарат (табл.2). Після годування поросят у максимальних дозах препарату відзначалося збільшення середньодобових приростів (на 21,0 та 21,6% вище контрольних показників, при  $p < 0,05$ ), що говорить про високу біологічну доступність діючих речовин препарату та насамперед каротину, який під вплив хлорофілу перетворюється на вітамін А в організмі тварин.

Таблиця 3.  
Вміст вітаміна А в печінці поросят-молочного віку

Показники	Групи	
	Контроль	Дослід
Вітамін А, мкг%	8,78±0,40	9,63±0,49

Дослідження, проведені з метою визначення оптимальної дози препарату для поросят-молочників, показали, що більш високу біологічну доступність та ростостимулюючий вплив має препарат, який застосовується в дозі 1,0 та 2,0 г/кг маси тіла, проте оптимальною, як економічно вигіднішою, все ж таки слід вважати дозу 1,0 г/кг. Дослідні поросята відрізнялися рухливістю, гарним апетитом, у них не відзначалося клінічних ознакою А-гіповітамінозу. Стан їх шкірного покриву, середньодобові прирости та конверсія корму були кращими, ніж у поросят контрольної групи. Як контроль з каротином застосовували бетавітон табл.4

Таблиця 4.

Вплив карокрапту на деякі показники поросят<sup>4</sup>

Показатели	Групи		
	1-контрольна	2-дослідна	3-дослідна
Застосований препарат	-	карокрап	бетавітон
Вихідні данні			
Фосфор, ммоль/л	2,12±0,23	2,06±0,14	2,09±0,13
Кальцій, ммоль/л	2,34±0,17	2,21±0,25	2,16±0,15
Вітамін А, мкмоль/л	0,69±0,33	0,69±0,27	0,68±0,17
Після застосування препаратів			
Фосфор, ммоль/л	2,19±0,27	1,97±0,29	1,95±0,26
Кальцій, ммоль/л	2,48±0,21	2,78±0,24	2,56±0,19
Вітамін А, мкмоль/л	0,87±0,15	1,64±0,17**	1,04±0,23

Після застосування препарату рівень вітаміну А у печінці поросят дослідної групи достовірно перевищив контрольні показники на 29,8%. Оптимальною добавкою все ж таки слід вважати дозу 1,0 г/кг, оскільки її підвищення вдвічі збільшує витрати корму на приріст, підвищення вдвічі збільшує витрати корму.

Дані про зміну показників крові говорять про високу біологічну доступність діючих речовин препарату і, насамперед, каротину, який, мабуть, під дією хлорофілу більш інтенсивно перетворюється в організмі тварин на вітамін А. вітамін А. Таким чином, проведені дослідження свідчать про гепато-протекторну дію нового препарату. Після застосування середньодобові прирости тварин зросли на 56,0%, тоді як у контрольній групі, на 43,6%. Високий фармакологічний ефект препаратів можна пояснити наявністю у них хлорофілу. Як відомо, у будові молекули хлорофілу та гемоглобіну є подібність [204-207] . Єдина відмінність у тому, що у центрі хелатного комплексу в хлорофілі перебуває атом магнію, а гемоглобіні - залізо. Тому, можна вважати, що хлорофіл здатний якимось чином впливати на кров, східно з гемоглобіном: підвищувати рівень кисню, сприяти підвищенню росту та розвитку тварин.

Встановлено, що оптимальною дозою препарату на основі каротину та кропиви для поросят-від'ємів є 1,0 г/кг маси тіла. Більш висока доза (2,0 г/кг) не мала перед нею переваг щодо приросту маси поросят та насичення їх організму вітаміном А. Низька доза (0,5 г/кг) суттєво поступалася оптимальною за цими показниками.

#### Захист каротину від окиснення

$\beta$ -каротин має властивості антиоксиданту, які дозволяють нейтралізувати вільні радикали - реактивні активовані молекули, що утворюються в ході певних нормальних біохімічних реакцій або з екзогенних джерел, – наприклад, таких, як забруднене повітря.  $\beta$ -каротин захищає макромолекули та біомембрани клітин від пошкодження і тим самим забезпечує підвищення резистентності організму до дії вільних радикалів та різноманітних патогенних вірусів. Вільні радикали можуть пошкоджувати ліпіди в клітинних мембранах так само, як і генетичний матеріал у клітинах. Також  $\beta$ -каротин може блокувати атомарний кисень, який утворюється, зокрема, у шкірі під впливом ультрафіолетового опромінення [208-214].

В ряді досліджень на тваринах показано, що додавання  $\beta$ -каротину в їжу підсилює імунні реакції [210-212]. Але сам каротин може окислюватися, втрачаючи при цьому свою фізіологічну функцію тому потребує додавання антиоксидантів. Ми обрали сезамол та сезамін.

З цією метою було вирішено створити купажовану олію для захисту каротину від окиснення. Визначення  $\beta$ -каротину проводили методом з використанням спектрофотометра СФ-46 при довжині хвилі 450 нм, в кварцевих кюветах з товщиною шару 1 см відносно розчинника – етанолу[191]. Була вироблена купажована олія підвищеної харчової цінності (рецептура №2), що збалансована за складом поліненасичених жирних кислот  $\omega$ -3 та  $\omega$ -6 груп, що може використовуватися у якості самостійного продукту (салатна олія), а також з метою виготовлення продуктів на її основі. Купажована олія підвищеної харчової цінності має регламентований вміст  $\beta$ -каротину при звичайному рівні її споживання (або споживання продуктів на її основі). В оліях присутній



антиоксидант – токоферол. Визначення токоферолу проводили за методом спектрофотометричного аналізу на спектрофотометрі СФ-46 при  $\lambda = 500$  нм [192]. Визначення вмісту фосфолипідів за допомогою колориметричного методу.

Визначення вмісту мікроелементів - заліза, міді та цинку проводили за допомогою методу рентгено-флуоресцентної спектроскопії.

Метод кількісного визначення сезамолу і сезаміну

Аналіз олій, що містять вільний сезамол, зв'язаний сезамол (сезамолін) і сезамін включає екстракцію вільного сезамолу з олії водним розчином луку, проведення колориметричної реакції з водною сірчаною кислотою у присутності фурфуролу для визначення вільного сезамолу в лужному екстракті і зв'язаного в розчині олії, вимірювання спектру поглинання розчину олії в інтервалі 255-320 нм для визначення змісту сезаміну, що не дає пурпурно забарвленого продукту колориметричної реакції, з вказаними реактивами згідно [189].

Вміст вільного сезамолу в зразку у відсотках ( $x_1$ ) визначають за формулою:

$$X_1 = \frac{100 \cdot D}{C \cdot d \cdot K_{ст}} \quad (1)$$

де:  $D$  – оптична щільність при  $\lambda = 518$  нм;

$C$  – концентрація розчину, що досліджується, г/л;

$d$  – товщина шару, см;

$K_{ст}$  – коефіцієнт поглинання продукту колориметричної реакції при  $\lambda=518$ нм (при роботі на спектрофотометрах СФ-46 його приймають рівним 160).

Вміст сезаміну в олії у відсотках ( $x_3$ ) визначають за формулою

$$x_3 = 4,541 K_{288} - 0,953 x_2 - 2,271 (K_{255} + K_{320}) \quad (2.2)$$

де  $K_{288}$ ,  $K_{255}$  і  $K_{320}$  – коефіцієнти поглинання аналізованої проби при 288, 255 і 320 нм.

Коефіцієнти поглинання обчислюють за формулою

$$K_\lambda = \frac{D_\lambda}{C \cdot d} \quad , \quad (2.3)$$

де  $D_\lambda$  – оптична щільність при відповідній довжині хвилі;

$d$  – товщина шару, см;

$C$  – концентрація аналізованого розчину, г/л.

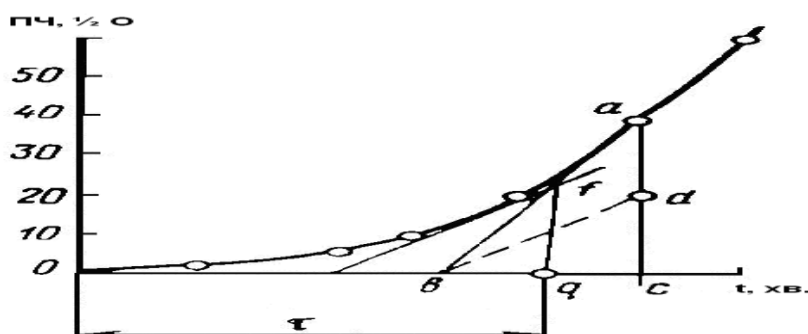
Дослідження окислювальної стабільності олій та олійних розчинів  $\beta$ -каротину проводили при різних режимах зберігання:

1) прискореним методом "активного кисню". Метод засновано на окисненні рослинної олії при температурі  $85 \pm 2$  °C у реакторі барботажного типу з постійною швидкістю подачі повітря при перемішуванні. Вимірюючи час у хвиликах і значення пероксидних чисел в  $\frac{1}{2}O$  ммоль/кг, будують залежність зміни пероксидних чисел олії від часу (рисунок 2), по якій графічно визначають період індукції  $\tau$ .

2) В якості контролю використовували зразок рафінованої дезодорованої соняшникової олії. У процесі зберігання через певні проміжки часу відбирали проби для визначення пероксидного, кислотного та анізидинового чисел за кімнатної температури при вільному доступі світла та повітря (автоокислення).

Окислення олій припиняли, коли пероксидне число досягало значення більше 10  $\frac{1}{2}O$  ммоль/кг, анізидинове число - більше 4 у.о., кислотне число - більше 3 мгКОН/г.

Для встановлення антиокислювальної активності антиоксидантів рослинних олій розраховували період індукції окислення зразків - час, протягом якого відбувалось значне підвищення концентрації продуктів окислення. Антиокислювальною активністю є сумарний ефект гальмування окислення, обумовлений сукупністю елементарних реакцій ініціювання, подовження і обривання ланцюгів.



**Рисунок 1** - Графічне визначення періоду індукції з кінетичної кривої окислення

Показником закінчення періоду індукції є вміст пероксидів на рівні 2,5 ½Оммоль/кг (за пероксидним числом), початок накопичення вільних жирних кислот (за кислотним числом) та підвищення концентрації продуктів вторинного окислення (за анізидиновим числом). По встановленому періоду індукції окислення дослідних зразків визначали ефективність антиокислювальної дії антиоксидантів (табл.5).

Таблиця 5 - Зміна природних антиоксидантів у кунжутній олії в процесі прискореного окислення

№ точк и на граф іку	ПЧ, ммоль ½О/кг	Вміст антиоксидантів					
		токоферол		сезамол вільний		сезамін	
		мг%	ступінь втрати, %	%	ступінь втрати, %	%	ступінь втрати, %
1	1,10	84 ± 0,70	–	148±0,001	–	1,10±0 ,1	–
2	1,60	23 ± 0,30	72,6±0,4	0,0130±0, 0005	12,2±3,3	1,00±0 ,0	9,0±0,9
3	3,12	22 ± 0,10	73,8±0,1	0,0125±0, 0002	15,1±1,5	0,99±0 ,9	10,0±0,9
4	4,18	8 ± 0,10	90,5±0,1	0,02±0,00 1	83,1±0,1	0,23±0 ,2	79,1±0,9
5	5,94	2 ± 0,05	97,6±0,1	0,01±0,00 1	99,3±0,1	0,11±0 ,1	90,0±0,9

Механізм дії сезамолу та сезаміну, виходячи з їх хімічної структури, полягає в обриві реакційних ланцюгів: молекули антиоксидантів взаємодіють з активними радикалами з утворенням малоактивних радикалів.

На підставі літературного огляду обрано три рослинні олії, що мають низьку здатність до окислення, які увійдуть до складу купажованої олії підвищеного терміну зберігання.

Специфічні антиоксиданти – сезамол (3,4-метилендіоксифенол) та його похідне – сезамін – речовини фенольної природи, що обумовлюють високу стійкість до окислення олії при зберіганні. Крім того, у складі кунжутної олії присутні токоферолі, основним ізомером яких (97%) є стабільний до високих

температур  $\gamma$ -токоферол, по відношенню до якого сезамол та сезамін проявляють синергетичний ефект при гальмуванні окислення олій.

Сезамол (3,4-метилendioксифенол) – природна органічна сполука фенольної природи. У чистому вигляді він є білою кристалічною речовиною з температурою плавлення 62-65°C, помірно розчинною у воді, змішується з більшістю олій, стабільний в звичайних умовах. Сезамол є антиоксидантом, який при вживанні у їжу в складі продуктів харчування захищає організм від дії вільних радикалів на молекулярному рівні. Продовження терміну придатності харчових рослинних олій, в які додано сезамол кунжуту, підтверджено їх більшою термальною стабільністю.

Суміш рослинних олій із сезамолом має вищий антиоксидантний потенціал, ніж суміш з синтетичними антиоксидантами подібної концентрації (табл.6). Деякі дослідники вважають, що це відбувається за рахунок синергізму між сезамолом та негліцеридними компонентами соняшникової олій (фітостероли).

Сезамін (5,5'-(1S,3R,4S,6R)-тетрагідро-1H,3H-фуоро[3,4-с]фуран-1,4-ди-біс (1,3-бензодіоксол)) включає в себе 4 функціональні ОН-групи, а отже має вищі антиокислювальні властивості у порівнянні з сезамолом, який має дві ОН-групи.

Таблиця 6.

Вміст антиоксидантів і вологи в зразках кунжутної олії

Продукт, що досліджувався	Вміст сезамолу, %		Вміст сезаміну, %	Масова частка вологи та летких речовин %
	вільний	зв'язаний		
Нерафінована кунжутна олія	0,0140±0,0005	0,32±0,01	1,08±0,01	0,14
Рафінована кунжутна олія	0,0103±0,0005	0,17±0,01	0,14±0,01	0,10
нерафінована кунжутна олія, що пройшла фільтрування через бельтінг	0,0148±0,0005	0,30±0,01	1,10±0,01	0,11
Нерафінована кунжутна олія виробництва ООО «Агросельпром»	0,0116±0,0005	0,24±0,01	0,86±0,01	0,22

Оскільки вміст у кунжутній олії антиоксидантів сезамолу та його похідних знижується у процесі рафінації, для розробки олійної основи для  $\beta$ -каротину обрано нерафіновану кунжутну олію, що пройшла фільтрування через бельтинг.

Таблиця 7.

Вміст токоферолів у зразках досліджуваних олій

Олія	Загальний вміст, мг%	Ізомери, % загального вмісту			Сумарний вміст, мг% (за Codex Alimentarius)
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma+\delta$	
Кунжутна нерафінована	$84 \pm 0,70$	$51,4 \pm 0,55$	$43,0 \pm 0,40$	$5,6 \pm 0,05$	50,4-114,0
Соняшникова високоолеїнова рафінована	$96 \pm 0,85$	$91,5 \pm 0,80$	$8,5 \pm 0,05$	-	40,3-102,1
Амарантова рафінована	$215 \pm 1,50$	$49,1 \pm 0,35$	$42,4 \pm 0,50$	$8,5 \pm 0,10$	31,4-347,2

Досліджено склад ізомерів антиоксиданту токоферолу в кунжутній, високоолеїновій соняшниковій та кукурудзяній оліях (таблиця 7), що ми застосуємо для захисту каротину від окиснення. З даних таблиці 7 видно, що найвищим вмістом токоферолів серед досліджуваних зразків характеризується кукурудзяна олія.

Антиокислювальний ефект купажованої олії перевищує дію синтетичного антиоксиданту бутилоксіанізолу (БОА) в рафінованій соняшниковій олії, що використовується у нормованій кількості 0,02%. Результати дослідження окислювальної стабільності купажованої олії та її компонентів окремо наведено і відповідно на рис. 2

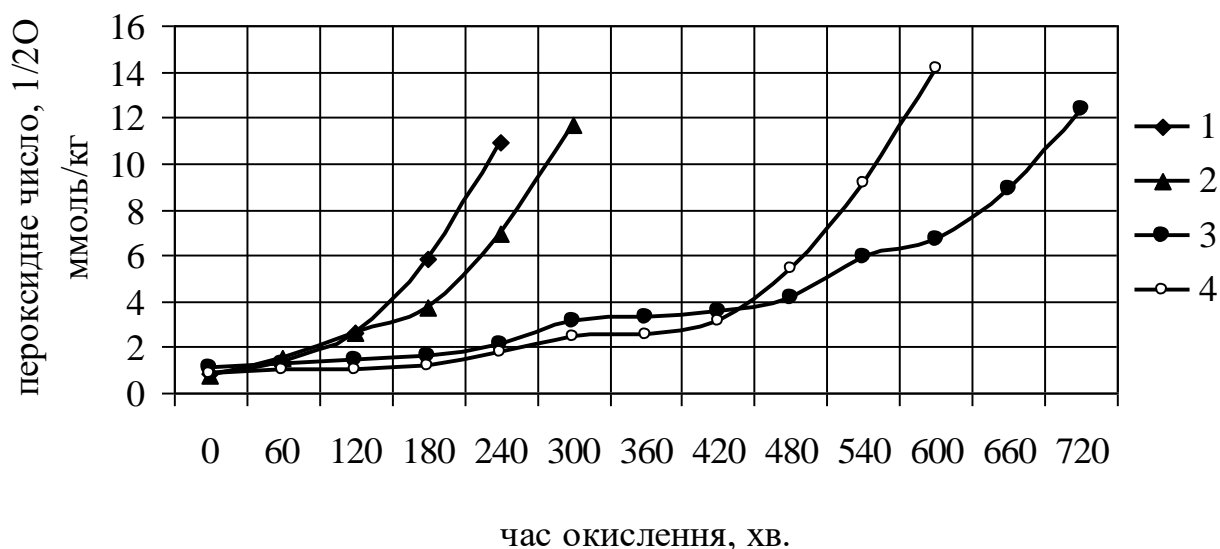


Рисунок 2. - Динаміка прискореного окислення: 1 – рафінована амарантова олія; 2 – рафінована високоолеїнова соняшникова олія; 3 - нерафінована кунжутна олія; 4 – купажована олія.

Результати дослідження стійкості до окислювального псування купажованої олії свідчать про помітне подовження терміну зберігання даної олії за рахунок антиоксидантів сезамолу та сезаміну.

Всі рослинні олії, що досліджувалися, мають антиоксиданти, які проявляють інгібуючі властивості щодо окислення олій. Найкращими кінетичними параметрами відзначається купажована олія з 0,02% токоферолу і 0,2%  $\beta$ -каротина. Розраховані величини  $k_{p2}/k_7$  підтверджують синергічний ефект антиоксидантів олійної основи (переважно сезамолу та сезаміну) для захисту  $\beta$ -каротину у гальмуванні окислювального псування.

Таблиця 8.  
Кінетичні параметри окислення олій при  $85 \pm 2$  °C, що досліджувалися

№	Зразок	$k_{p2}/k_7 \cdot 10^5$
1	Соняшникова олія (контроль)	0,71
2	Амарантова олія	0,68
3	Високоолеїнова соняшникова олія	0,64
4	Кунжутна олія	0,22
5	Купажована олія	0,41
6	Купажована олія з 0,02% токоферолу(рецептура №1)	0,20
7	Соняшникова олія з 0,2% $\beta$ -каротина (контроль)	0,72
8	Купажована олія з 0,2% $\beta$ -каротина	0,31
9	Купажована олія з 0,02% токоферолу і 0,2% $\beta$ -каротина	0,15

Таким чином можна зробити висновок, що купажовані олії можуть бути використані як основи для сповільнення процесу окислювального псування мікробіологічного  $\beta$ -каротину. З метою створення купажованих (сумішевих) рослинних олій, що збагачені есенціальними складовими, такими як незамінні поліненасичені  $\omega$ -3 жирні кислоти, для захисту  $\beta$ -каротину проведено дослідження зі створення каротинвмістивної купажованої олії не тільки зі збалансованим складом поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), гарними смаковими якостями, але й стабільної до окислювального псування за рахунок природних складових.

Нерафінована кунжутна олія, що входить до складу купажованої олії у якості другого компонента, містить у своєму складі унікальні природні антиоксиданти – сезамол та сезамін, які запобігають окисленню  $\beta$ -каротину.

Таблиця 9.

Біологічно активні речовини обраних рослинних олій.

Найменування біологічно активної речовини	Рослинні олії		
	кунжутна	соєва	соняшникова
Токофероли, мг%, у тому числі:	84 ± 0,50	147 ± 0,80	98 ± 0,60
α-, % до суми	51,4 ± 0,20	9,8 ± 0,05	94,2 ± 0,60
β-, % до суми	43,0 ± 0,20	66,3 ± 0,30	5,8 ± 0,02
γ-, % до суми	5,6 ± 0,03		
δ-, % до суми		23,9 ± 0,10	-
Сезамол, %:		-	-
у вільному стані	0,0103±0,0005	-	-
у зв'язаному стані	0,17±0,01	-	-
Сезамін, %	0,14±0,01	-	-

У якості третього компонента використано рафіновану дезодоровану соняшкову олію з метою додаткового збагачення купажованої олії  $\alpha$ -токоферолом в якості антиоксиданта. Результати розрахунку співвідношення компонентів купажованої олії для конкретних зразків олій дали наступне рішення:

- соєва олія - 70%; - кунжутна олія - 15%; - соняшникова олія - 15%.

Розроблена каротинвмістивна купажована олія (рецептура №2), окрім збалансованого складу ПНЖК, має бути стійкою до окислювального псування за рахунок природних антиоксидантів кунжутної олії – сезамолу і сезаміну, що входять до її складу. В ході роботи досліджено стійкість каротинвмістивної купажованої олії до окислення, визначено вплив природних антиоксидантів сезамолу та сезаміну на окислювання  $\beta$ -каротину у складі каротинвмістивної купажованої олії, фізико-хімічні та органолептичні показники, харчову цінність, а також кінетичні параметри окислення.

Дослідження стійкості каротинвмістивної купажованої олії до окислювального псування проведено за допомогою методу "активного кисню" при температурі  $85 \pm 2^\circ\text{C}$ . Ступінь окислення контролювали за величиною пероксидного (ПЧ), кислотного (КЧ) та анізидинового (АЧ) чисел.

Періоди індукції зразків при  $85 \pm 2^\circ\text{C}$  каротинвмістивної купажованої олії та контролю представлено в таблиці 10.

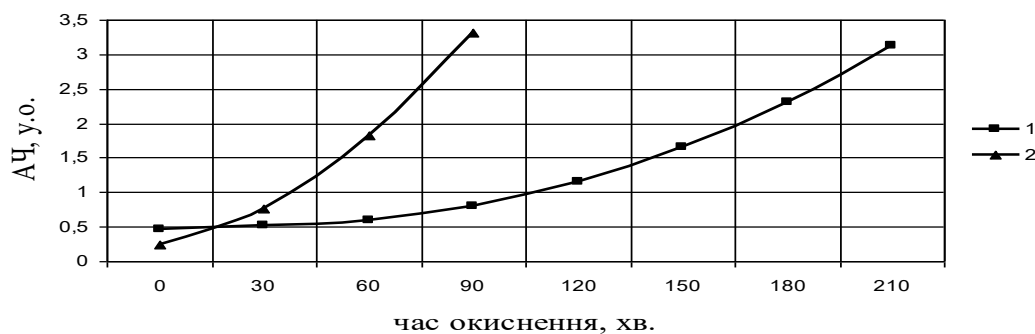
Таблиця 10.

Періоди індукції при  $85 \pm 2^\circ\text{C}$  зразків олій, що досліджувалися

Олія, що окислювалася	Період індукції, хв.
Каротинвмістивна купажована олія	$200 \pm 8$
Контроль	$95 \pm 3$

Аналізуючи рисунок 3, видно, що найдовший термін зберігання зафіксовано в каротинвмістивній купажованій олії, гранична кількість вторинних продуктів окислення якої ( $\text{АЧ}=3$ , для рафінованих дезодорованих олій) накопичується протягом 210 хвилин прискореного окислення. У контрольному зразку гранична кількість вторинних продуктів окислення накопичується протягом 85 хвилин.





**Рисунок 3** - Динаміка зміни анізидинових чисел в процесі окислення:  
1 – каротинвмістивна купажована олія; 2 – контроль.

В Україні широкого поширення набув кормовий препарат мікробіологічного каротину (КПМК), який нині називається Вітатон. Численні дослідження на сільськогосподарських тваринах показали високу ефективність препарату, який підвищував продуктивність тварин, позитивно впливав на відтворювальну функцію, покращував якість продукції, мав високий профілактичний ефект при А-гіповітамінозах [195].

Вітаміни не є для тварин джерелом енергії та матеріалом для побудови тканин та органів. Однак багато з них входять до складу ферментів або беруть участь у ферментних системах, що каталізують перетворення в організмі білків, жирів, вуглеводів і солей, що надходять з їжею. Відсутність або недостатній вміст у раціоні окремих вітамінів знижує активність відповідних ферментів і у тварин настає порушення обміну речовин, що проявляється втратою апетиту, слабкістю, затримкою росту, виснаженням та специфічними захворюваннями, які називаються авітамінозами. В таблиці 10 наведено соковиті корми: зелений корм, силос, сінаж, коренеплоди, бульбоплоди та овочі, що містять велику кількість каротину – провітаміну А, тому вони є необхідним компонентом раціону сільськогосподарських тварин та птахів.

Таблиця 10.  
Вміст вітамінів в зелених рослинах ), в 1 кг корма.

Корма	Каротин, мг	Д, МЕ	Е, мг	В <sub>1</sub> , мг	В <sub>2</sub> , мг	В <sub>3</sub> , мг	В <sub>4</sub> , мг	В <sub>5</sub> , мг	В <sub>6</sub> , мг
Кукурудза,	54	2,5	40	1,13	1,88	6,28	50,2	5,11	2,5
Пшениця	36	4,0	50	2,0	2,5	7,0	80	7,0	-
Рожь озима	37	2,2	38	0,8	2,7	5,35	75,5	7,5	1,9
Ячмінь	69	2,3	55	1,0	1,7	5,7	46	6,8	2,3
Боби	45	2,1	40	1,53	1,24	5,13	31,5	7,4	2,1
Клевер	40	2,3	40	1,5	4,4	4,2	80	14,0	8,3

У випадку з каротиноїдами, пігментація виступає як індикатор якості. Наприклад, одне яйце, отримане за допомогою А-вітамінного методу, здатне на 50% перекрити добову потребу дорослої людини у таких вітамінах, як В12, D, К. Годування курей збалансованим кормом безпосередньо впливає на приріст і несучість птиці. Для нормальної життєдіяльності молодняку та дорослого птаха необхідні: білки, вуглеводи, жири, вітаміни та мінеральні речовини – макро- та мікроелементи. До макроелементів відносяться кальцій, фосфор, натрій, калій: Кальцій та фосфор необхідні для формування та росту кісткової тканини, утворення шкаралупи яєць, нормального перебігу фізико-біохімічних процесів. Натрій і калій беруть участь у регулюванні реакції крові, впливають на засвоєння поживних речовин, входять до складу деяких ферментів та регулюють водний, мінеральний, азотистий та жировий обміни. До мікроелементів відносять магній, сірку, залізо, кобальт, мідь, марганець, цинк, йод. Магній бере участь в обміні речовин у тісному взаємозв'язку з кальцієм та фосфором. Значна кількість магнію (більше 60%) знаходиться в кістках, решта – у м'яких тканинах та рідинах організму. При нестачі магнію в раціоні птиці зменшуються запаси магнію в організмі, порушується обмін речовин, розвивається тяжке захворювання із високою смертністю. Вміст у раціоні великої кількості кальцію, фосфору та азоту

підвищує потребу птиці в магнії, а надлишок магнію призводить до підвищеного виведення з організму кальцію та фосфору. Сірка в організмі птиці знаходиться в основному у вигляді органічних сполук, головним чином білків та деяких амінокислот (цистеїн, цистин та метіонін). Наявність сірки в раціоні птиці особливо важлива при використанні в якості заміників протеїну синтетичних азотовмісних речовин. Сірка стимулює зростання пера, тому має бути раціоні птиці під час линяння. Залізо бере участь в окисно-відновних реакціях. При нестачі заліза у раціоні птиці порушується синтез гемоглобіну крові та розвивається анемія. У синтезі гемоглобіну беруть участь та інші мікроелементи: кобальт, мідь та марганець. Основна функція заліза – стимулювання кровотворних елементів кісткового мозку. Кобальт стимулює утворення еритроцитів у кістковому мозку та впливає на синтез білка. Мідь входить до складу багатьох окисних ферментів, сприяє використанню глюкози та відкладенню глікогену в печінці, впливає на активність статевих гормонів та синтез гемоглобіну в еритроцитах, сприяє перетворенню неорганічного заліза на органічно пов'язану форму. Марганець впливає на окислювальні процеси в організмі та інтенсивність обміну білків. Нестача марганцю затримує зростання птиці. Солі свинцю та цинку сприяють депонуванню марганцю в організмі, а солі кобальту та молібдену знижують цю здатність. Цинк є складовою ферментів і гормонів. При нестачі цинку виникають шлунково-кишкові захворювання [210-214]. Йод входить до складу гормону щитовидної залози та обумовлює його активність у регулюванні білкового, мінерального та інших видів обміну. При нестачі йоду затримується ріст молодняка, а мінеральних речовин – знижуються опірність організму до хвороб та активність птиці, затримується ріст, послаблюється кістяк, потоншується шкаралупа яєць та погіршується їхня виведення. Як зелений корм у великій кількості використовують люцерну, конюшину, горох у фазі бутонізації.

Зелені корми для птиці – важливе джерело вітамінів та деяких мінеральних речовин. Крапива дводомна – рослина, багата на вітаміни, мікроелементи та інші біологічно активні речовини. Листя кропиви дводомної

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

містить до 270 мг % вітаміну С, каротиноїди (каротин, ксантофіл, ксантофілепоксид, віолаксантин), до 5% хлорофілу, більше 2% дубильних речовин, органічні кислоти (щавлева, бурштинова, фумарова, молочна, лимонна). У листі та молодих стеблах кропиви, яку здавна вважали «пташиним» кормом, містяться багато цінних поживних речовин: білки, каротин, вітаміни А, В, С, К та ін. Кропиви птиці краще згодовувати навесні або на початку літа, коли листя і стебла ще не огрубіли і багаті на різні поживні речовини. Листя є своєрідним природним полівітаміним концентратом. Вони містяться до 170 мг% (за іншими даними, 270 чи 100—200) аскорбінової кислоти, до 20 мг% (за іншими даними, 50 чи 14—30 каротину, вітаміни групи У, До (400 біологічних одиниць один г) У 100 г кропиви міститься 41 мг заліза, 1,3 мг міді, 8,2 мг марганцю, 4,3 мг бору, 2,7 мг титану, 0,03 мг нікелю, у листі – до 8 % хлорофілу, цукор, порфірини, ситостерин, фенольні кислоти, дубильні речовини, фітонциди, глікозид уртицин, органічні кислоти. Склад: сирого протеїну 22,2%, чистого білка 16,7%, жиру 2,15%, клітковини 35,6, екстрактивних безазотистих речовин 22,1%, золи 17,8%, аскорбінової кислоти 49-72 мг% (час збору - середина травня), 10% крохмалю, близько 1% цукрів, багато солей заліза та калію. У стеблах і листі кропиви виявили ефірну олію, сиротинін, порфірин, пантотенові та фенолкарбонові кислоти, флавоноїди, глізодургіцин, гістамін. Кропива має у своєму складі 9 з 10 незамінних амінокислот, вітаміни групи В, а також вітаміни С, РР, К. Хімічний склад 100 г кропиви: 41 мг заліза, 1,3 мг міді, 8,2 мг марганцю, 4,3 мг бору 2,7 мг титану, 0,03 мг нікелю; у листі – до 8 % хлорофілу, цукор, порфірини, ситостерин, фенольні кислоти, дубильні речовини, фітонциди, глікозид уртицин, органічні кислоти.

Для отримання препарату підібрано умови оптимізації процесів: ступінь подрібнення сировини, часовий режим подрібнення, співвідношення сировини та мікробіологічного каротину з антиоксидантами (сезамол в складі купажованої олії) основних груп БАВ. Модифіковано методику спектрофотометричного визначення суми флавоноїдів у сировині подрібненої кропиви, що виключає використання державного стандартного зразка рутину.

Визначено кількісний вміст органічних кислот, дубильних речовин, флавоноїдів, каротиноїдів, хлорофілів, тритерпенових сполук, вітаміну К. В 1 г розробленого препарату міститься 20 мг бета-каротину, 5 – альфа-токоферолу ацетату та 2,5 мг аскорбіату цинку (з вмістом цинку 0,6%). Ми порівнювали ефективність застосування у годівлі сільськогосподарського птаха двох форм препарату, практично однакових за складом, але відмінних між собою за введеному до їх складу каротину. Контроль містить у своєму складі лише масу каротину крапиви, дослід включає до складу препарату масляний екстракт мікробіологічного каротину з антиоксидантами.

Групи курчат-бройлерів віком 20 діб - I група була контрольною (птахи вітамінні препарати не отримували. Особам II дослідної групи давали карокрапт, що містить бета-каротин мікробіологічний з антиоксидантами. Препарати давали з питною водою з розрахунку 10 мл на 10 діб. В результаті досліджень встановлено, що найвищий середньодобовий приріст виявили курчата у II дослідній групі. У II дослідній групі, де використовували карокрапт з мікробіологічним бета-каротином, середньодобовий приріст перевищив контрольні показники на 13,9%. При аналізі даних щодо конверсії корму видно, що у всіх групах витрати корму перебували у межах зоотехнічних нормативів цього виду птиці. Однак у II дослідній групі витрати корму були на 11,7 нижче, ніж у контролі. Мікробіологічний бета-каротин, що входить до складу карокрапту. представлений каротино-ліпідним комплексом, що складається з каротину кропиви та мікробіологічного каротину. Крім традиційно представленого в препараті бета-каротину, нова форма препарату містить фосфоліпід, гліколіпід, стерини, вітамін Е, антиоксиданти, вітаміни групи К, вільні жирні кислоти, що підвищує засвоюваність препарату, робить його склад ціннішим за біологічно активними речовинами та енергією. Крім того, під час мікробіологічного синтезу бета-каротин розчиняється в ліпідах гриба *Blakeslea trispora*, що підвищує його доступність при згодовуванні тваринам. У дослідях на курах-несучках також було підтверджено перевагу бета-каротину мікробіологічного походження. Дача птиці з водою препарату викликала

статистично достовірне збільшення середньої маси яйця ( $P < 0,5$ ), інтенсивність яйцекладки та незначне збільшення товщини шкаралупи. Під впливом карокрапту, що містить бета-каротин мікробіологічного походження, вміст каротиноїдів у жовтку яєць зроста майже вдвічі ( $P < 0,001$ ), кількість вітаміну А підвищувалася на 15,1% ( $P < 0,05$ ). Застосування карокрапту з мікробіологічним бета-каротином зумовило збільшення каротиноїдів та вітаміну А у жовтку яєць відповідно на 52,6 та 12,5% порівняно з контролем ( $P < 0,05$ ). Випаювання препаратів сприяло зниженню кислотного числа жовтка на 60,2-43,5%.

Таким чином, найвищий фармакологічний ефект був отриманий від карокрапту. Після його застосування середньодобові прирости тварин зросли на 56,0%, тоді як у групі, яка отримувала препарат тільки з наявністю препаратоа крапиви - на 41,5%, у отримувала карокрапт - на 53,6%. Високий фармакологічний ефект препаратів можна пояснити наявністю в них хлорофілу. Як відомо, у будові молекули хлорофілу та гемоглобіну є подібність. Єдина відмінність полягає в тому, як уже вказувалося вище, що в центрі хелатного комплексу в хлорофілі знаходиться атом магнію, а в гемоглобіні - залізо. Тому, можна вважати, що хлорофіл здатний якимось чином впливати на кров, схожу з гемоглобіном: підвищувати рівень кисню, сприяти підвищенню росту та розвитку тварин.

#### Висновки

1. Вивчено можливість застосування для годування молодняка свиней нового вітаміновмісного хлорофіло-каротинового комплексу - карокрапт при А-гіповітамінозі поросят та курчат.

2. Встановлено, що оптимальною дозою карокрапту для поросят-отъйомишів оптимаоьною є доза 1,0 г/кг маси тіла. Більш висока доза (2,0 г/кг) не мала перед нею переваг щодо приросту маси поросят та насичення їх організму вітаміном А. Низька доза (0,5 г/кг) суттєво поступалася оптимальною за цими показниками.

3. Карокрапт, застосований поросятям у дозах 1,0 та 2,0 г/кг, підвищував середньодобові прирости (на 51,5 та 52,0%), сприяв зниженню витрат корму на одиницю продукції (на 14,6 та 10,7). %),

4. Двадцятидобове застосування поросятям карокрапту в дозах 1,0 та 2,0 г/кг сприяло збільшенню вмісту вітаміну А у сироватці крові та печінки (на 87,3 та 87,8%)

5. При порівняльній оцінці дії карокрапту на організм поросят з ознаками А-гіповітамінозу найвищий фармакологічний ефект був отриманий від препарату в дозі 1,0 г/кг. Відзначалося підвищення середньодобових приростів (на 56,0%), збільшення вмісту вітаміну А у сироватці крові (більш ніж у 2,5 раза) та печінки (на 30,7%).

6. Позитвний вплив отриман і на курчатах-бройлерах. Результати фізіологічного впливу препарату на основі крапиви та мікробіологічного каротину з антиоксидантами були схожі по дії.

**SECTION 3. COMPUTER SCIENCE**

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.3.1

**3.1 Обробка емпіричних даних у середовищі RStudio з використанням мови програмування R**

**Емпіричні дослідження** – це спостереження і дослідження конкретних явищ, а також узагальнення, класифікація та опис результатів дослідження і експерименту, впровадження їх у практичну діяльність людей.

**Емпіричні дослідження** використовуються для відповіді на емпіричні питання, які повинні бути визначені з даними.

Дослідник має певні теорії на тему, з якої ведуться дослідження. На основі цієї теорії пропонуються певні припущення або гіпотези.

З цих гіпотез роблять прогнозування конкретних подій чи визначення значень величини. Ці прогнозування можуть бути перевірені конкретними експериментами.

Залежно від результатів експерименту теорії, на яких гіпотези або прогнози були засновані, будуть підтверджуватися або спростовуватися. Точний аналіз емпіричних (дослідних даних) з використання стандартних статистичних методів у дослідженнях має вирішальне значення для визначення обґрунтованості емпіричних досліджень.

Статистичні формули такі, як регресія, коефіцієнт невизначеності, T – критерій,  $\chi^2$  – квадрат критерій і різні види дисперсійного аналізу мають основне значення для формування висновків. Якщо емпіричні дані досягають значущості у відповідних статистичних формулах, гіпотеза підтверджується. Якщо ні, то підтверджується нульова гіпотеза.

**Емпіричний цикл.**

1. Спостереження (Observation) – збір та групування емпіричних даних, формування гіпотези.
2. Індукція (Induction) – розробка гіпотез.
3. Дедукція (Deduction) – виведення послідовності гіпотез.



4. Перевірка (Testing) – перевірка гіпотези з нового емпіричного матеріалу.

5. Оцінка (Evaluation) – оцінка результатів перевірки.

Основні задачі емпіричних методів пов'язані з наближеним визначенням розподілів ймовірностей на множині значень досліджуваних випадкових величин та їх параметрів на основі статистичних даних, одержаних в результаті проведення  $n$  незалежних випробувань, пов'язаних з певним стохастичним експериментом.

### **Використання мови програмування R та середовища RStudio для емпіричних досліджень.**

R – це мова програмування та програмне середовище для аналізу емпіричних даних, графічного представлення та звітності. R знаходиться у вільному доступі під General Public License і існують її версії для різних операційних систем, таких як Linux, Windows та Mac. Ця мова програмування була названа R відповідно до першої літери імені двох авторів R (Роберт Джентльмен і Росс Іхака), як мова вона продовжує розроблятися та вдосконалюється.

Основою R є інтерпретована комп'ютерна мова, яка дозволяє виконувати автоматизацію обчислювальних процесів з різними типами алгоритмів, а також модульне програмування з використанням функцій. R забезпечує ефективність інтеграції з процедурами, написаними мовами C, C++, .Net, Python.

R була написана Россом Іхакою та Робертом Джентльменом на факультеті статистики Оклендського університету в Окленді, Нова Зеландія та зробила свою першу появу в 1993 році. Велика група людей зробила свій внесок у R, надіславши код та звіти про помилки. З середини 1997 року існує основна група (R Core Team), яка може змінювати архів вихідного коду R.

При програмуванні мовою R досягаються важливі особливості:

R – це добре розроблена, проста і ефективна мова програмування, яка включає умовні вирази, цикли, користувальницькі рекурсивні функції та засоби

введення та виведення.

R має ефективні засоби обробки та зберігання даних,

R надає набір операторів для обчислень над масивами, списками, векторами та матрицями.

R надає великий, узгоджений та інтегрований набір інструментів для аналізу даних.

R надає графічні засоби для аналізу даних та відображення безпосередньо на комп'ютері, або для друку на папері.

Напевно потрібно вказати, що R – найширше використовувана у світі мова програмування для статистики. Це вибір дослідників даних, який підтримується енергійною та талановитою спільнотою учасників. R викладається в університетах і використовується в критично важливих бізнес-додатках.

Працювати мовою програмування R значно швидше і простіше у середовищі RStudio, так як RStudio дозволяє писати множинні рядки коду, підключати та підтримувати бібліотеки і взагалі більш продуктивно облаштовувати своє робоче середовище.

R застосовується скрізь, де потрібна робота з даними, не лише статистика у вузькому значенні слова, а й «первинний» аналіз (графіки, таблиці спряженості), і просунуте математичне моделювання. R без особливих проблем може використовуватися і там, де прийнято використовувати комерційні програми аналізу рівня MatLab. З іншого боку, цілком природно, що основна обчислювальна міць R найкраще проявляється при емпіричному аналізі: від обчислення середніх величин до вейвлет-перетворень часових рядів. Географія використання R дуже різноманітна.

RStudio - це нове інтегроване середовище розробки для R, яке поєднує в собі інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача з потужними інструментами кодування, що дозволяє максимально використовувати можливості R і швидше виконувати поставлені завдання. Як і R, RStudio доступний під ліцензією з відкритим вихідним кодом, що гарантує свободу обміну та зміни програмного забезпечення.

У цьому розділі розглядається виключно RStudio і R як стандартний блок для досліджень та аналізу завдань, де використовуються емпіричні дані та обчислення з ними.

### **Основні принципи та прийоми роботи в RStudio.**

Розглянемо основні принципи та прийоми роботи в RStudio.

#### **Консольний режим.**

Після запуску RStudio користувач потрапляє в консольний режим роботи. Будь-яка команда, написана користувачем, буде відразу виконана R після натискання Enter.

Отримати допомогу по функції можна командою `help (function name)` або `?function name`. У правому нижньому кутку на вкладці Help з'явиться довідка.

#### **Написання скриптів.**

В R зручніше писати не по одній команді, а відразу цілий набір команд і потім запускати їх все на виконання. Для цього потрібні скрипти. Щоб створити скрипт, слід вибрати File -> New File -> R Script. Відкриється нова область, в якій можна писати команди. Коментарі, які не виконуватиме R, пишуться зі знака #. При натисканні Enter команди у скрипті виконуватися не будуть, а буде лише здійснений перехід на новий рядок. Щоб виконати команду в режимі скрипта, слід поставити курсор на потрібний рядок і натиснути Ctrl + Enter. Якщо команда займає більше одного рядка, то необхідно ставити знак + в кінці кожного рядка. Команда виконується по рядках, у кожному рядку потрібно натискати Ctrl + Enter, або виділити всю команду і натиснути Ctrl + Enter один раз.

R може підказувати, які команди доступні, якщо почати вводити перші символи і натиснути або Tab, або Ctrl + Enter.

В основному в R працюють з наборами даних. Така структура має назву `data.frame` та являє собою таблицю, де кожний стовпчик – це деяка змінна а кожний рядок – це деяке спостереження.

Створимо у режимі скрипта `data.frame`. Нехай є спостереження за зростом і вагою деяких людей. Задамо два вектора:

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

```
>rost <- c (160, 175, 155, 190, NA)
```

```
>ves <- c (NA, 70, 48, 85, 60)
```

І об'єднаємо їх в набір даних, який помістимо в перемінну df, а потім виведемо на екран:

```
> df<- data.frame (rost,ves)
```

Звертатися до конкретних спостереженнями df можна, використовуючи квадратні дужки:

```
> df [217,215]
```

```
[215] 155
```

Звертатися до змінних можна, використовуючи знак \$ або вказуючи на стовпець з пропуском номера рядка:

```
> df$rost
```

```
[215] 160 175 155 190 NA
```

або

```
> df [,215]
```

```
[215] 160 175 155 190 NA
```

Основні описові статистики (середнє, стандартне відхилення і медіану) можна отримати за допомогою функцій mean, sd і median:

```
mean (df$rost, na.rm = T)
```

```
[215] 170
```

```
sd (df$rost, na.rm = T)
```

```
[215] 15.81139
```

```
median (df $ rost, na.rm = T)
```

```
[215] 167.5
```

Можна зберегти скрипт, натиснувши File -> Save. При першому зберіганні R запропонує вибрати кодування. Рекомендується вказати UTF-8, щоб букви (наприклад, у коментарях) відображалися коректно. Потім необхідно вибрати директорію і задати ім'я файлу, який буде збережений з розширенням \*.R.

Установка пакетів.

В R існує базовий набір пакетів (бібліотек), який містить самі необхідні функції. Для реалізації завдань економетрики потрібні додаткові пакети. Для роботи з зовнішніми пакетами необхідно виконати дві дії - встановлення та підключення потрібного пакету. Установку необхідно виконати один раз, а підключати у кожній робочій сесії. Для установки пакетів існує функція `install.packages`. Також автоматично будуть доустановлені пов'язані пакети. Для підключення встановленого пакета слід скористатися функцією `library`. Наприклад, встановимо такі пакети:

`psych` - містить функції для розрахунку описових статистик.

`dplyr` - містить функції для роботи з `data.frame`;

`ggplot2` - найпотужніший пакет для побудови красивих графіків, діаграм, карт і т. д.

```
install.packages(c("psych", "dplyr", "ggplot2"))
```

Прямим повідомленням про помилку установки є тільки слово `Error`, що з'являється в консолі. Всі інші повідомлення `Warning` є просто попередженнями про що-небудь.

Для того щоб визначити, які пакети є необхідними для роботи, можна скористатися пошуком в мережі Інтернет, задавши питання на англійській мові. Наприклад, щоб знайти, в якому пакеті знаходиться алгоритм Левенберга-Марквардта для розрахунку нелінійного МНК можна набрати у пошуку «`levenberg-marquardt algorithm in r`» та першим посиланням буде пакет `minpack.lm` в R.

```
library("psych") # описові статистики
```

```
library("lmtest") # тестування гіпотез в лінійних моделях
```

```
library("ggplot2") # графіки
```

```
library("dplyr") # маніпуляції з даними
```

```
library("MASS") # підгонка розподілів
```

Отримаємо, наприклад, опис набору даних по автомобілям `cars` командою:

help (cars)

Результат виконання команди (в правому нижньому кутку на вкладці Help) показаний на рисунку 1. У цьому наборі даних 50 спостережень і дві змінні (швидкість, миль / годину і довжина гальмівного шляху в футах).

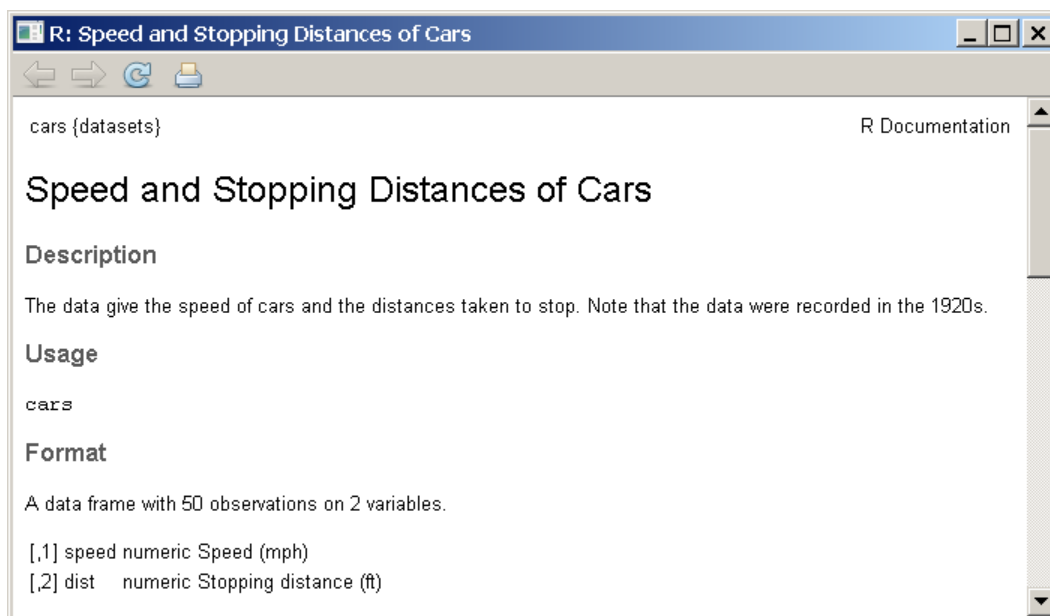


Рис. 1. Довідка з набору даних cars.

Помістимо у змінну d вбудований в R набір даних по автомобілям:

```
d <- cars # цей набір даних знаходиться в базовому пакеті datasets
```

Тепер d має тип data.frame (набір даних), у чьому можна впевнитися, подивившись у правому верхньому куті вікна таблиці середовища Environment (рис. 2). Для цього повинен бути обраний режим Grid. За допомогою кнопки можна переглянути вміст набору даних у вигляді таблиці.

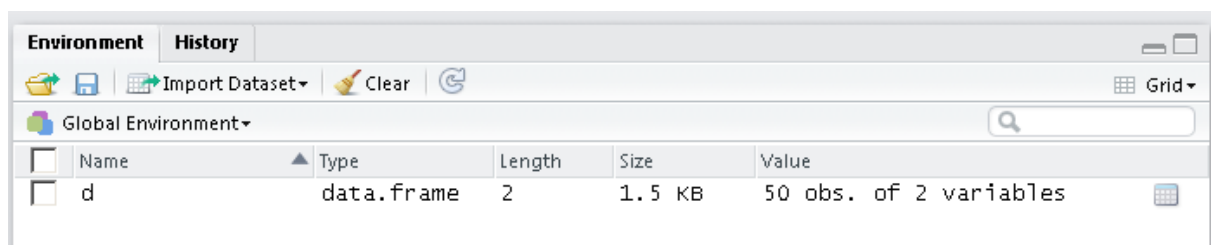


Рис. 2. Опис набору даних d в таблиці середовища Environment.

Наступною командою можна подивитися на цей набір даних, в результаті чого будуть перераховані всі змінні і типи даних:

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

```
> glimpse(d) # функція з пакету dplyr
```

Результат виконання команди з'явиться в консолі:

```
> d <- cars
```

```
> glimpse(d)
```

```
Observations: 50
```

```
Variables: 2
```

```
$ speed (dbl) 4, 4, 7, 7, 8, 9, 10, 10, 10, 11, 11, 12, 12, 12, 12, 13, ...
```

```
$ dist (dbl) 2, 10, 4, 22, 16, 10, 18, 26, 34, 17, 28, 14, 20, 24, 28, ...
```

Змінні `speed` і `dist` мають тип даних `dbl` (`double`) та містить по 50 спостережень. Для інших типів даних використовуються такі скорочення: `chr` (`character / string`), `int` (`integer`), `fctr` (`factor`), `tims` (`time`), `lgl` (`logical`).

Подивимося на перші шість спостережень набору даних `d`:

```
> head(d) # функція з базового пакету utils
```

```
speed dist
```

і останні шість спостережень:

```
> tail(d) # функція з базового пакету utils
```

```
speed dist
```

Отримаємо таблицю з описовими статистиками: середнє, мода, медіана, стандартне відхилення, мінімум, максимум, асиметрія, ексцес тощо:

```
> describe(d) # функція з пакета psych
```

Vars	n	mean	sd	median	trim	med	mad	min	max	range
speed	1	50	15.40	5.29	15	15.47	5.93	4	25	21
dist	2	50	42.98	25.77	36	40.88	23.72	2	120	118

Побудуємо гістограму абсолютних частот для змінної `dist` (довжини гальмівного шляху). Скористаємося функцією `qplot`, задавши джерело даних `d` (аргумента `data`), змінну для побудови графіка (`dist`), підпишемо осі (параметри функцій `xlab`, `ylab`) та назву графіка (параметр `main`).

```
# функція з пакету ggplot2
```

```
> qplot(data=d, dist, xlab="Довжина гальмівного шляху", ylab="Число ...  
автомобілів", main="Дані по автомобілях 1920-х років")
```

Можна побудувати також діаграму щільності розподілу (рис. 3):

```
# функція з базового пакету graphics  
>hist(d$dist,probability=TRUE, col="grey")
```

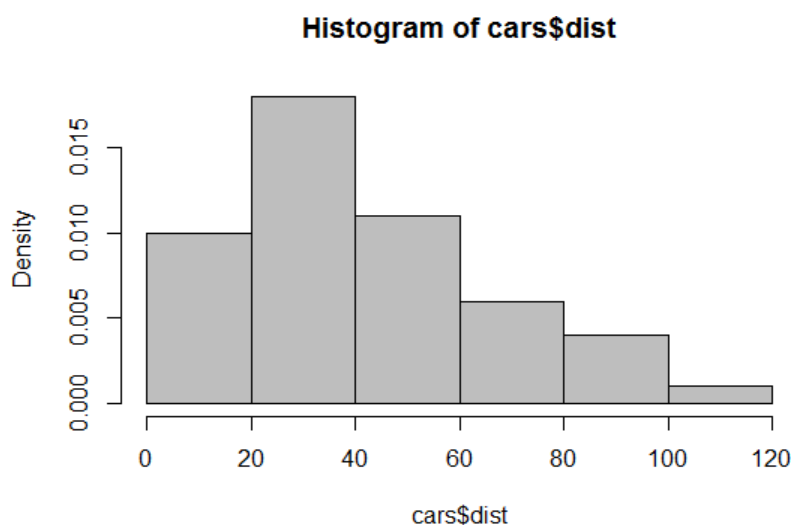


Рис. 3. Гістограма щільності розподілу для змінної dist.

Підгонимо щільність розподілу Вейбула, розташувавши результат (оцінки параметрів розподілу) у змінній fit:

```
fit<-fitdistr(d$dist,"weibull") # функція з пакету MASS
```

Змінна fit тепер буде представлена у вигляді списку (List) із п'яти елементів, це відображається у Environment.

Доступ до елементів списку можна отримати за допомогою символу \$.

Оцінки двох параметрів розподілу Вейбула були розраховані методом максимальної правдоподібності. Переглянемо їх, звернувшись до елементу списку fit:

```
> fit $ estimate  
shape    scale  
1.72371 48.15234
```

Покажемо на тому ж графіку теоретичну щільність розподілу Вейбула (рис. 4).

```
>xvals<-seq(0,120,.20) # значення по осі абсцис від 0 до 120 з кроком 0,2  
>lines(xvals,dweibull(xvals,shape=fit$estimate[215], scale=fit$estimate[216]))
```



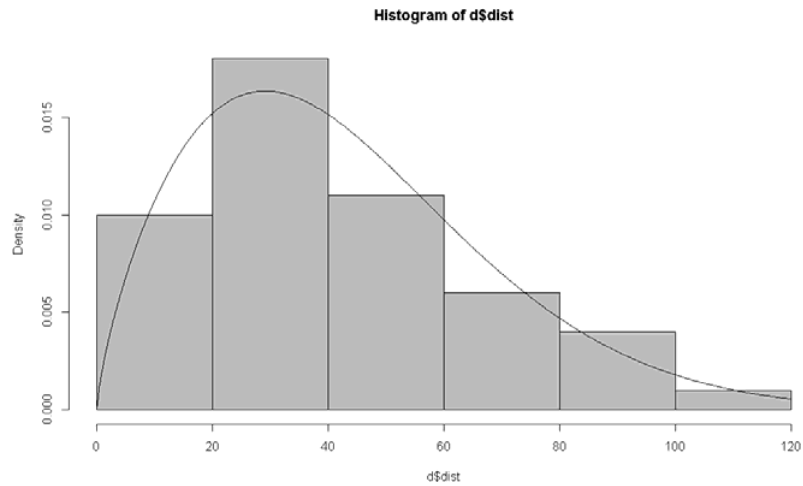


Рис. 4. Гістограма розподілу змінної dist.

Перший аргумент функції **lines**— це значення по осі абсцис, на основі яких буде побудовано графік. Далі вказується функція щільності **dweibull**, для неї потрібно визначити значення аргументу для розрахунку та значення двох параметрів розподілу: коефіцієнт форми (**shape**) та масштабу (**scale**).

### 3.2 Наближені та точні алгоритми рішення задачі цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними на основі рангового підходу

На основі висунутих стратегій  $\{L_w\}$  і правил  $\{K_w\}$  розробимо алгоритми рішення задачі цілочисельного лінійного програмування (ЦЛП) з булевими змінними (БЗ). У результаті були одержані одноетапні і багатоетапні алгоритми, класифікація яких зображені на рис. 1 [220-231]

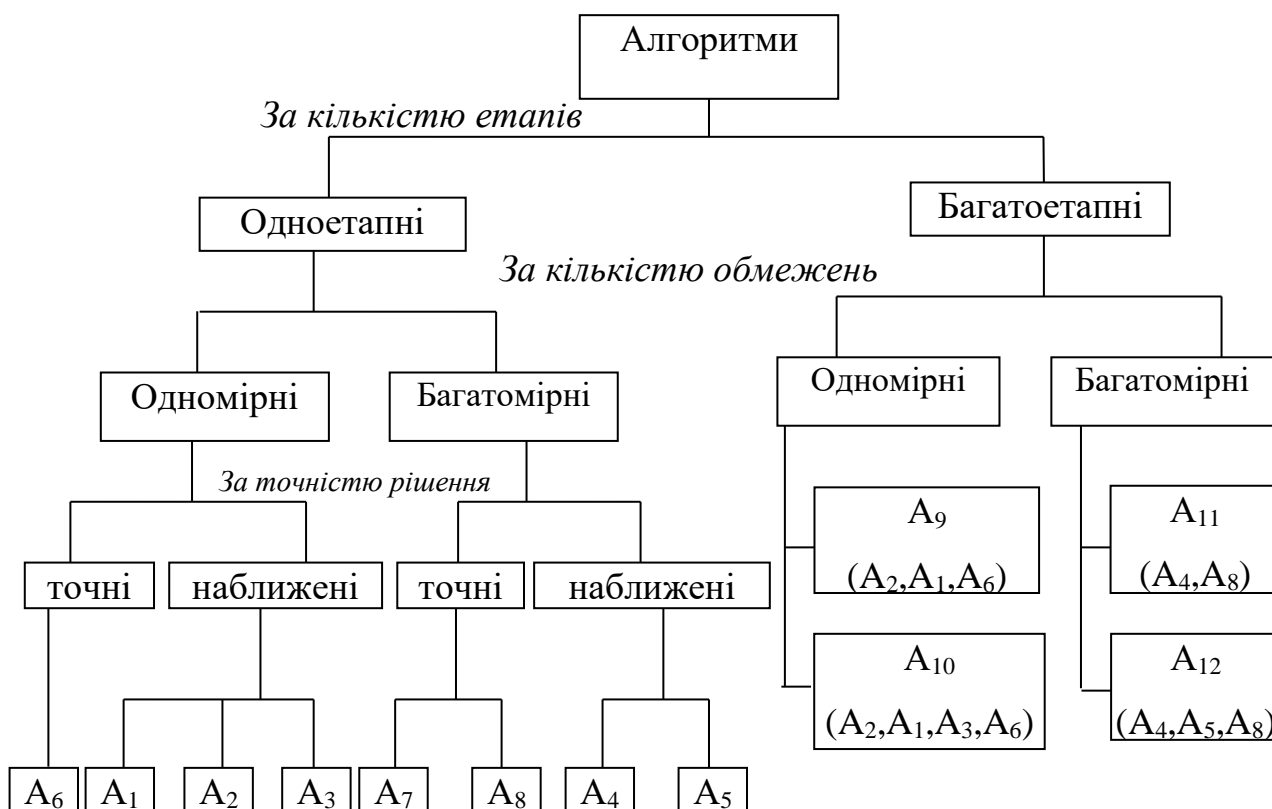


Рисунок 1. Класифікація алгоритмів на основі узагальненої процедури  $A_n$

Основними кваліфікаційними ознаками є кількість етапів і точність етапів рішення задачі. За першою ознакою алгоритми діляться на одноетапні і багатоетапні. Дане розділення означає, що початкове завдання може розв'язуватися один (одноетапні) або кілька разів (багатоетапні) різними алгоритмами, перелік яких поданий у дужках. Друга ознака визначає погрішність одержуваного допустимого рішення задачі ЦЛП з БП за вагою функціонала від

оптимального рішення. Якщо алгоритм принципово не може дати точного рішення за вагою функціонала, то такий алгоритм називатимемо наближеним.

**АЛГОРИТМ А<sub>1</sub>.** Розгляд наближених алгоритмів почнемо з одновимірної задачі ЦЛП з БП. Найбільш простим є алгоритм А<sub>1</sub>, що побудований на основі процедури А<sub>0</sub> і реалізовує стратегії відсікання L<sub>1</sub> і L<sub>3</sub>. Його покроковий опис має наступний вигляд.

*КРОК 1.* З вершини  $s$  будується множина шляхів  $m_{sj}^{r=1}$ ,  $j = \overline{(1, n)}$  першого рангу  $r$ , що задовольняє властивості, і визначаються в множини  $m_{sj}^{r=1}$  шляху максимальної довжини  $\left\{ \mu_{sj}^{*r} \right\}$  за вагою функціонала  $c_j$ . Для кожної вершини  $j$  визначається вага  $\gamma_j$  за правилом:

$$\gamma_j = c_{j+1} + c_{j+2} + \dots + c_n, \quad \gamma_n = 0; \quad j = \overline{(1, n-1)}, \quad (1)$$

*КРОК 2.* Виключаються шляхи  $\left\{ \mu_{sp}^r \right\}$ ,  $p = \overline{(r, n)}$  у множині  $m_{sj}^r$  поточного рангу  $r$ , довжині якої  $d_c(\mu_{sp}^r)$  задовольняють нерівності:

$$d_c(\mu_{sp}^r) + \gamma_p < \max_{\{c_j\}} \left\{ d_c \left( \mu_{sp}^{*r} \right) \right\}, \quad (2)$$

де  $d_c(\mu_{sp}^r)$  – довжина шляху  $\mu_{sp}^r$  до вершини  $p$  рангу  $r$  за вагою  $c_j$ ; дозволяє виключити цей шлях з подальшого аналізу, як безперспективний, якщо умова виконана

*КРОК 3.* Формується множина шляхів  $m_{sp}^{r=r+1}$ ,  $p = \overline{(1, n)}$  наступного рангу, що задовольняє властивості, на базі множини шляхів  $m_{sj}^r$  попереднього рангу на основі рекурентного співвідношенн:

$$\mu_{sp}^{r=r+1} = \max_{c_j} \left\{ \mu_{sj}^r \cup (j, p) \right\}; \quad p = \overline{(r+1, n)}; \quad j = \overline{(r, n)}, \quad (3)$$

# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

У освічених множинах  $m_{sp}^{r=r+1}$  виділяємо щонайдовші шляхи  $\left\{ \begin{matrix} * \\ \mu_{sp} \end{matrix} \right\}^{r=r+1}$ . Якщо

опиняться декілька шляхів максимальної довжини, то серед них вибирається шлях з меншим значенням довжини за вагою обмежень  $a_{1j}$ .

*КРОК 4.* Перевіряється, чи вся множина шляхів наступного  $(r+1)$ -го рангу порожня. Якщо це так, то переходимо до кроку 5; якщо ні, то перевіряємо  $r = (n - 1)$ . У разі виконання рівності переходимо до кроку 5, інакше збільшуємо  $r$  на 1 і виконуємо крок 2.

*КРОК 5.* Виділяємо в множині шлях максимальної довжини і алгоритм  $A_1$  закінчує роботу.

Отримання наближеного рішення обумовлене застосуванням стратегії вибору  $L_1$ . Приклад 1, наведений в попередньому розділі ілюструє роботу алгоритму  $A_1$ .

Приклад 1. Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\bar{x}) = 20x_1 + 18x_2 + 18x_3 + 15x_4 + 10x_5 + 4x_6 + 1x_7$$

при обмеженні

$$7x_1 + 2x_2 + 5x_3 + 2x_4 + 3x_5 + 1x_6 + 4x_7 \leq 12$$

у відповідності зі стратегією  $L_1$  і  $L_3$ .

Рішення. Ілюстрація рішення приводиться на рис. 2. Тут і далі підкреслення шляху означає те, що тільки на основі цього шляху відбувається побудова множин наступного рангу, інакше шлях виключається з подальшого аналізу. Ліворуч у вигляді стовпця проставлене значення  $\gamma_j$ ,  $j = (\overline{1,7})$ , обумовлене для кожної вершини графа ДД. Так, наприклад  $\gamma_3 = c_4 + c_5 + c_6 + c_7 = 15 + 10 + 4 + 1 = 30$ .

Відмінною рисою від приклада 1 є наявність порожніх множин  $m_{sj}^r$ . Це обумовлено застосуванням відсікань за умови (2). Наприклад, побудуємо шлях

$\mu_{s15}^{r=2}$ . До цього часу  $\max \left\{ d_c \left( \begin{matrix} * \\ \mu_{s12} \end{matrix} \right)^{r=2} \right\} = 38$ , а  $d_c(\mu_{s12}^{r=2}) = 30$ . Тоді  $d_c(\mu_{s15}^{r=2}) + \gamma_5 = 35$ . Отже,

# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

на основі шляху  $\mu_{s15}^{r=2}$ , неможливо побудувати шляхи, що перевищують за вагою функціонала значення вже існуючого локального екстремуму: шляхи  $\mu_{s12}^{* r=2}$ .

Як видно із приклада 1, спільне застосування стратегій  $L_1$  і  $L_3$  дозволяє в 3 рази зменшити число векторів, що будуються в множинах  $m_{sj}^r$ , у порівнянні із застосуванням однієї стратегії  $L_1$ .

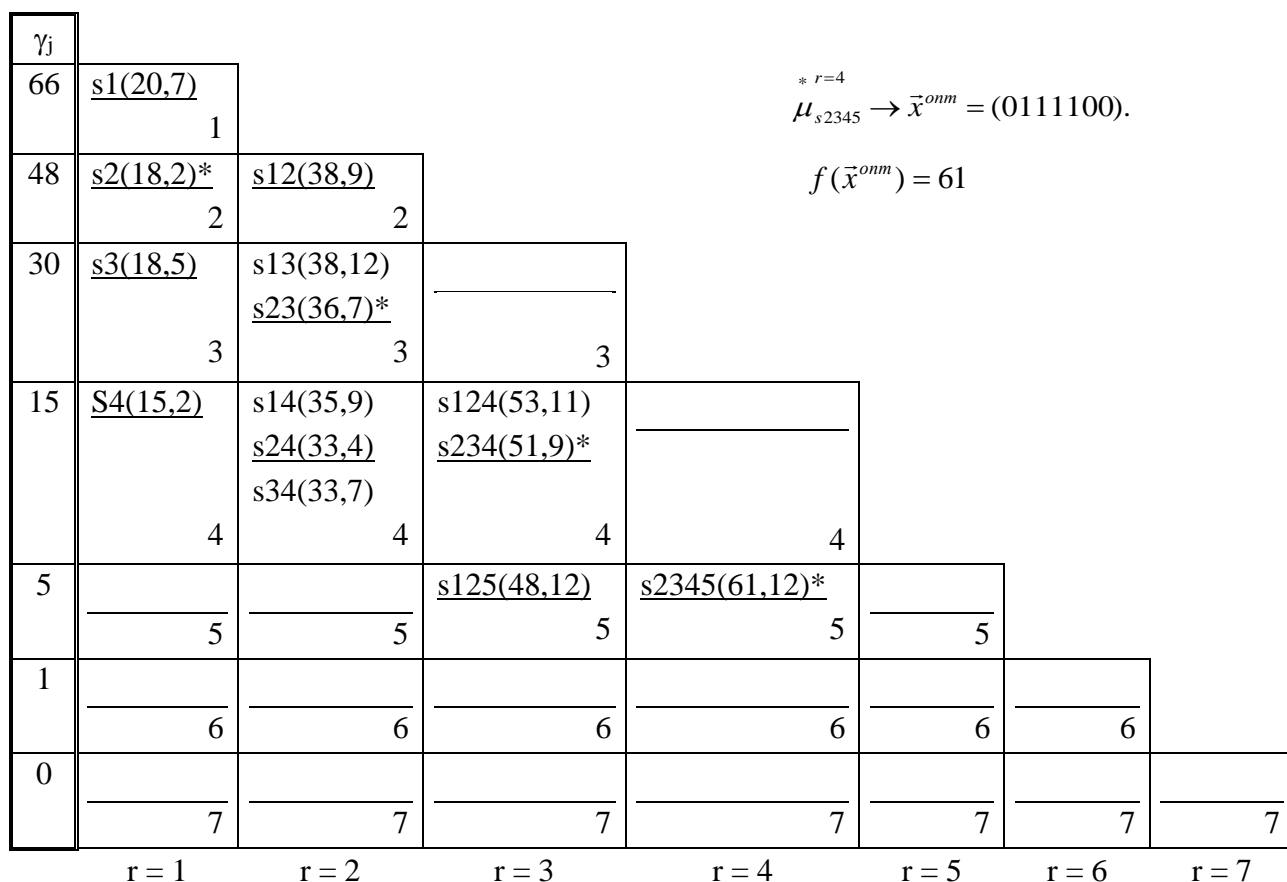


Рисунок 2. Ілюстрація роботи стратегії  $L_1$  і  $L_3$

**АЛГОРИТМ  $A_2$ .** Іншою стратегією вибору шляхів є стратегія  $L_4$ , яка за допомогою алгоритму  $A_2$  дозволяє одержати шляхи максимально можливого рангу  $r$  в графі ДД. Її можна реалізувати, якщо в  $D$  визначати найкоротші шляхи за вагою обмежень на основі процедури  $A_0$  між вершиною  $s$  і всією рештою вершин графа  $D$ , використовуючи при цьому рекурентне співвідношення (2.15), і, природно, відсікання за правилом  $L_3$ :

$$\mu_{sp}^{r=r+1} = \min_{a_{ij}} \{ \mu_{sj}^r \cup (j, p) \}; \quad p = \overline{(r+1, n)}; \quad j = \overline{(r, n)}, \quad i = 1. \quad (4)$$

Покроковий опис алгоритму  $A_2$  мають наступний вигляд.

*КРОК 1.* З вершини  $s$  будується множина шляхів  $m_{sj}^{r=1}, j = \overline{(1, n)}$  першого рангу  $r$ , що задовольняє властивості, і визначаються в множини  $m_{sj}^{r=1}$  шляху максимальної довжини  $\left\{ \mu_{sj}^{*r} \right\}$  за вагою функціонала  $c_j$ . Для кожної вершини  $j$  визначається вага  $\gamma_j$  за правилом (1).

*КРОК 2.* Виключаються шляхи в множини  $m_{sj}^r$  поточного рангу  $r$ , довжини якої  $d_c(\mu_{sj}^r)$  задовольняють нерівності (2).

*КРОК 3.* Формується множина шляхів  $m_{sp}^{r=r+1}, p = \overline{(1, n)}$  наступного рангу, що задовольняє властивості, на базі множини шляхів  $m_{sj}^r$  попереднього рангу, які мають мінімальне значення в  $m_{sj}^r$  довжини за вагою обмежень, на основі рекурентного співвідношення (4). У освічених множинах  $m_{sp}^{r=r+1}$  виділяємо щонайдовші шляхи  $\left\{ \mu_{sp}^{*r=r+1} \right\}$ .

*КРОК 4.* Перевіряється, чи вся множина шляхів наступного  $(r+1)$ -го рангу порожня. Якщо це так, то переходимо до кроку 5; якщо ні, то перевіряємо  $r = (n - 1)$ . У разі виконання рівності переходимо до кроку 5, інакше збільшуємо  $r$  на 1 і виконуємо крок 2.

*КРОК 5.* Виділяємо в множині шлях максимальної довжини і номер останньої вершини  $w$ , що належить цьому шляху, після чого алгоритм  $A_2$  закінчує роботу.

**АЛГОРИТМ  $A_3$ .** Виходячи з поняття коридору і відповідно до стратегії  $L_7$  пропонується наступний наближений алгоритм  $A_3$  рішення задачі ЦЛП х БП який полягає в тому, щоб з множини  $m_{sj}^r$  рангу  $r$  в множину  $m_{sj}^{r=r+1}, j = \overline{(r+1, n)}$  наступного рангу вибиратимуться не більше двох шляхів, які задовольняють властивості  $v$ .

Першим є шлях з максимальною вагою за функціоналом  $c_j$  (відносно рекурентного співвідношення (3)), а другим – шлях з найменшою вагою за

обмеженням  $\{a_{1j}\}$  (відносно рекурентного співвідношення (3)), що відповідним чином змінить крок 3 алгоритми  $A_1$ . У іншому покроковий опис алгоритму  $A_3$  повністю співпадає з описом алгоритму  $A_1$ . Втрата оптимального рішення обумовлена його попаданням всередину коридору. Тому, як видно з прикладу 2, даний алгоритм  $A_3$  є наближеним.

Приклад 2. Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\bar{x}) = 20x_1 + 19x_2 + 17x_3 + 13x_4 + 12x_5 + 10x_6 + 7x_7 + 5x_8 + 2x_9$$

при обмеженні

$$9x_1 + 8x_2 + 8x_3 + 4x_4 + 3x_5 + 2x_6 + 1x_7 + 5x_8 + 1x_9 \leq 30$$

алгоритмом  $A_3$  (рис. 3).

Рішення. Порядок побудови шляхів в графі  $D$  описаний в попередньому розділі.

З кожної множини  $m_{sj}^r$  вибирається тільки два шляхи: максимальний за вагою функціонала і мінімальний за вагою обмеження (ці шляхи підкреслені), а інші – ігноруються. З цієї причини в множині  $m_{s5}^{r=5}$  виключився з подальшого розгляду шлях, що належить оптимальному, оскільки домінували за алгоритмом  $A_3$  шляхи  $\mu_{s125}^{r=3}$  і  $\mu_{s245}^{r=3}$ . Отже і результатом рішення вийшов шлях, відповідний вектору, що і дало відносну погрішність  $f = (64 - 63) / 64 = 1,5\%$ .

**АЛГОРИТМ  $A_4$ .** Для багатовимірної задачі ЦЛП з БП аналогічно також можна побудувати ефективні наближені алгоритми. Таким є алгоритм  $A_4$ , заснований на стратегії  $L_{10}$ , який з множини поточного рангу буде в множині наступного рангу  $r = r + 1$  тільки шлях з максимальною довжиною за вагою функціонала  $\{c_j\}$ .

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

$\gamma_j$								
85	s1(20,9)*							
	1							
66	s2(19,8)	s12(39,17)						
	2	2						
49	s3(17,8)	s13(37,17)*						
	3	s23(36,16)						
	3	3						
36	s4(13,4)	s14(33,13)	s124(52,21)					
	4	s24(32,12)	s134(50,21)					
	4	s34(30,12)	s234(49,20)					
	4	4	4					
24	s5(12,3)	s15(32,12)	s125(51,20)					
	5	s25(31,11)	s135(49,20)					
	5	s35(29,11)	s235(48,19)					
	5	s45(25,7)	s145(45,16)*					
	5	5	s245(44,15)					
	5	5	5					
14	s6(10,6)	s16(30,11)	s126(49,19)	s2456(54,17)				
	6	s26(29,10)	s136(47,19)					
	6	s36(27,10)	s236(46,18)					
	6		s146(43,15)					
	6		s246(42,14)					
	6		s156(42,14)					
	6		s456(35,9)					
	6	6	6					
7			s2347(56,21)	s24567(61,18)				
	7		s127(46,18)	s1257(58,21)				
	7			s2457(51,16)				
	7			s1267(56,20)				
	7	7	7	7				
2								
	8	8	8	8	8			
0						s245679(63,19)		
	9	9	9	9	9	9	9	9
	r = 1	r = 2	r = 3	r = 4	r = 5	r = 6	r = 7	

\*  $r=6$   
 $\mu_{s145679} \rightarrow \bar{x}^{omn} = (100111101);$   
 $f(\bar{x}^{omn}) = 64.$

Рисунок 3 Ілюстрація роботи алгоритму  $A_3$

При цьому тимчасова складність алгоритму зростає в  $2m$  рази, оскільки необхідно виконати для кожного вектора  $m$  операцій складання і  $m$  операцій порівняння, щоб переконатися, чи задовольняє вектор, відповідний цьому шляху, обмеженню, чи ні. Отже і покроковий опис для алгоритму  $A_4$  співпадає з алгоритмом  $A_1$ .

**АЛГОРИТМ  $A_5$ .** Застосування стратегії  $L_{11}$  дозволило побудувати алгоритм  $A_5$ , суть якого полягає у виборі з кожної множини  $m_{sj}^r$  поточного рангу  $r$  одного шляху, максимального за вагою функціонала і, у гіршому разі,  $m$  шляхів,



мінімальних за вагою обмежень, що задовольняють властивості  $v$ . Тоді, на відміну від алгоритму  $A_1$ , покроковий опис алгоритму  $A_5$  зміниться на:

*КРОК 1.* З вершини  $s$  будується множина шляхів  $m_{sj}^{r=1}, j = (\overline{1, n})$  першого рангу  $r$ , що задовольняє властивості, і визначаються в множини  $m_{sj}^{r=1}$  шляху максимальної довжини  $\left\{ \mu_{sj}^{* r} \right\}$  за вагою функціонала  $c_j$ . Для кожної вершини  $j$  визначається вага  $c_j$  за правилом (1).

*КРОК 2.* Виключаються шляхи в множини  $m_{sj}^r$  поточного рангу  $r$ , довжини якої  $d_c(\mu_{sp}^r)$  задовольняють нерівності (2).

*КРОК 3.* Формується множина шляхів  $m_{sp}^{r=r+1}, p = (\overline{1, n})$  наступного рангу, що задовольняє властивості, на базі множини шляхів  $m_{sj}^r$  попереднього рангу на основі рекурентних співвідношень. У освічених множинах  $m_{sp}^{r=r+1}$  виділяємо щонайдовші шляхи  $\left\{ \mu_{sp}^{* r=r+1} \right\}$ . Якщо виявиться декілька шляхів максимальної довжини, то серед них вибирається шлях з меншим значенням довжини за вагою обмеження  $\{a_{ij}\}$ . Якщо виявиться декілька шляхів з мінімальним значенням по  $i$ -му обмеженню, то вибирається той, у якого більше довжина за вагою функціонала.

*КРОК 4.* Перевіряється, чи вся множина шляхів наступного  $(r+1)$ -го рангу порожня. Якщо це так, то переходимо до кроку 5, якщо ні, то перевіряємо  $r = (n - 1)$ . У разі виконання рівності переходимо до кроку 5, інакше збільшуємо  $r$  на 1 і виконуємо крок 2.

*КРОК 5.* Виділяємо в множині шлях максимальної довжини і алгоритм  $A_5$  закінчує роботу.

Цей алгоритм має одну невизначеність у тому випадку, коли в множині опиняться декілька векторів з максимальною довжиною за вагою функціонала і з різними значеннями за вагою обмежень, тобто, наприклад, за вагою першого обмеження більше другий вектор, за вагою другого - перший, за вагою третього – знову другий і т. д.

Тому, для уникнення цієї невизначеності при рівності довжин за вагою функціонала вибирається шлях з меншим значенням за вагою всіх обмежень. Якщо таке неможливе, то вибирається будь-який. Може статися, що відкинутий шлях належатиме оптимальному шляху. Ця обставина і є однією з причин отримання алгоритмом  $A_5$  наближеного рішення.

Побудова точних алгоритмів ґрунтується на понятті коридору і використанні стратегій  $L_6, L_8, L_9, L_{12}, L_{13}$  відсікання. Для точних алгоритмів аналітична оцінка тимчасової складності і величини апаратних витрат становить трудність із-за NP-повноти розв'язуваної задачі. Основною причиною неможливості оцінки є випадкове число векторів усередині коридору, що виділяється. Природа випадковості кількості векторів усередині коридору визначається співвідношеннями між коефіцієнтами функціонала  $c_j$  і коефіцієнтами обмежень  $a_{ij}$ , а також приростами цих співвідношень між  $j$ -мі компонентами двійкового вектора  $\bar{x} = x_1, \dots, x_n$  при заданому законі розподілу коефіцієнтів у функціоналі і обмеженнях.

**АЛГОРИТМ  $A_6$ .** На основі стратегій  $L_6, L_8, L_9$  побудуємо точний алгоритм  $A_6$  рішення одновимірної задачі ЦЛП з БП, покроковий опис якого матиме наступний вигляд.

*КРОК 1.* З вершини  $s$  будується множина шляхів  $m_{sj}^{r=1}, j = \overline{(1, n)}$  першого рангу  $r$ , що задовольняє властивості, і визначаються в множині  $m_{sj}^{r=1}$  шляху максимальної довжини  $\left\{ \mu_{sj}^{*r} \right\}$  за вагою функціонала  $c_j$ . Для кожної вершини  $j$  формуються калібрувальні вектори  $\bar{y}_j$  (5) і  $\bar{z}_j$  (6):

$$y_{jk} = a_{jk} + y_{j(k-1)}; k = \overline{(1, n-j)}; y_{j0} = 0; y_{jn} = b_1; j = \overline{(1, n-1)}. \quad (5)$$

$$\hat{z}_{jk}^B = c_{j+k} + \hat{z}_{j(k-1)}^B; k = \overline{(1, n-j)}; \hat{z}_{j0}^B = 0; \hat{z}_{jn}^B = 0; j = \overline{(1, n-1)}. \quad (6)$$

*КРОК 2.* Виключаються шляхи в множині  $m_{sj}^r$  поточного рангу  $r$ , довжини якої  $d_c(\mu_{sp}^r)$  задовольняють нерівності (1).

*КРОК 3.* Для кожного шляху  $\{\mu_{sj}^r\}$ ,  $j = \overline{(r, n)}$  поточного рангу  $r$  визначається за правилом  $K_1$  значення  $\hat{r}_6$ . Виключаються шляхи, довжини яких задовольняють нерівності:

$$d_c(\mu_{sp}^r) + \hat{z}_{p_i_6}^6(\mu_{sp}^r) < \max_{c_j} \left\{ d_c \left( \mu_{sp}^{*r} \right) \right\}. \quad (7)$$

*КРОК 4.* Формується множина шляхів  $m_{sp}^{r=r+1}$ ,  $p = \overline{(1, n)}$  наступного рангу, що задовольняє властивості, на базі множини шляхів  $m_{sj}^r$  попереднього рангу на основі принципу оптимізації за напрямком з виділенням коридору по стратегії  $L_6$  і виключенням векторів усередині коридору відповідно до стратегії  $L_8$ . Шлях в множині  $m_{sp}^{r=r+1}$  може бути сформований, якщо він задовольняє властивості. Якщо властивість  $v$  не виконується, то шлях виключається з подальшого аналізу.

У освічених множинах  $m_{sp}^{r=r+1}$  виділяємо щонайдовші шляхи  $\left\{ \mu_{sp}^{*r=r+1} \right\}$ .

*КРОК 5.* Перевіряється, чи вся множина шляхів наступного  $(r+1)$ -го рангу порожня. Якщо це так, то переходимо до кроку 6, якщо ні, то перевіряємо  $r = (n - 1)$ . У разі виконання рівності переходимо до кроку 6, інакше збільшуємо  $r$  на 1 і виконуємо крок 2.

*КРОК 6.* Виділяємо в множині шлях максимальної довжини і алгоритм  $A_6$  закінчує роботу.

**АЛГОРИТМ  $A_7$ .** Для рішення багатовимірної задачі ЦЛП з БЗрозглянемо два точних алгоритми  $A_7$  і  $A_8$ , заснованих на понятті  $m$ -мірного коридору і стратегій вибору  $L_{12}$ ,  $L_{13}$  відповідно. Принципова відмінність алгоритмів  $A_7$  і  $A_8$  полягає в тому, що перший виділяє  $m$ -мірний коридор усередині множини поточного рангу  $r$  графа  $D$ , а другий виділяє  $m$ -мірний коридор безпосередньо на всьому ярусі графа  $D\Delta$ . Відсікання, засновані на стратегії  $L_9$  і правилах  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ , залишаються однаковими для обох алгоритмів. Покроковий опис алгоритму  $A_7$  має наступний вигляд.

*КРОК 1.* З вершини  $s$  будується множина шляхів  $m_{sj}^{r=1}, j = (\overline{1, n})$  першого рангу  $r$ , що задовольняє властивості, і визначаються в множині  $m_{sj}^{r=1}$  шляху максимальної довжини  $\left\{ \mu_{sj}^{*r} \right\}$  за вагою функціонала  $c_j$ . Для кожної вершини  $j$  формуються калібрувальні вектора  $\bar{y}_j^i$  (5) і  $\bar{z}_j$  (6).

*КРОК 2.* Для кожного шляху  $\left\{ \mu_{sj}^r \right\}, j = (\overline{r, n})$  поточного рангу  $r$  визначається за правилом  $K_1$  значення  $\Gamma_B$ . Виключаються шляхи, довжини яких задовольняють нерівності (7).

*КРОК 3.* Формується множина шляхів  $m_{sp}^{r=r+1}, p = (\overline{1, n})$  наступного рангу, що задовольняє властивості, на базі множини шляхів  $m_{sj}^r$  попереднього рангу на основі принципу оптимізації за напрямком з виділенням  $m$ -мірного коридору у вигляді підмножини  $m_{sp}^{rk} \in m_{sp}^{r=r+1}$  відповідно до стратегії  $L_{12}$  і відсіканням неперспективних векторів за правилом  $K_4$ . Шлях в множині  $m_{sp}^{r=r+1}$  може бути сформований, якщо він задовольняє властивості. Якщо властивість  $v$  не виконується, то шлях виключається з подальшого аналізу. У освічених множинах  $m_{sp}^{rk}$  виділяємо щонайдовші шляхи  $\left\{ \mu_{sp}^{*r=r+1} \right\}$ .

*КРОК 4.* Перевіряється, чи вся множина шляхів наступного  $(r+1)$ -го рангу порожня. Якщо це так, то переходимо до кроку 5, якщо ні, то перевіряємо  $r = (n - 1)$ . У разі виконання рівності переходимо до кроку 5, інакше збільшуємо  $r$  на 1 і виконуємо крок 2.

*КРОК 5.* Виділяємо в множині шлях максимальної довжини і алгоритм  $A_7$  закінчує роботу.

**АЛГОРИТМ  $A_8$ .** З метою усунення цього недоліку пропонується алгоритм  $A_8$ , що здійснює виділення  $m$ -мірного коридору на всьому ярусі. Суть цього алгоритму полягає в тому, що якщо на ярусі в множинах, які лежать в графі ДЛ вище за деякий шлях  $\mu_{sp}^{*r}$  рангу  $r$  існує шлях, котрий має не менше значення за

вагою функціонала і менше значення за вагою всіх обмежень, то такий шлях  $m_{sp}^{r=r+1}$  не потрапляє в  $m$ -мірний коридор на ярусі. В цьому випадку покроковий опис  $A_8$  прийме наступний вигляд.

*КРОК 1.* З вершини  $s$  будується множина шляхів  $m_{sj}^{r=1}, j = (\overline{1, n})$  першого рангу  $r$ , що задовольняє властивості, і визначаються в множини  $m_{sj}^{r=1}$  шляхи

максимальної довжини  $\left\{ \begin{matrix} * r \\ \mu_{sj} \end{matrix} \right\}$  за вагою функціонала  $c_j$ . Для кожної вершини  $j$

формуються калібрувальні вектори  $\vec{y}_j$  (5) і  $\vec{z}_j$  (6).

*КРОК 2.* Виключаються шляхи в множини  $m_{sj}^r$  поточного рангу  $r$ , довжини якої  $d_c(\mu_{sp}^r)$  задовольняють нерівності (1).

*КРОК 3.* Формується множина шляхів  $m_{sp}^{r=r+1}, p = (\overline{1, n})$  наступного рангу, що задовольняє властивості, на базі множини шляхів  $m_{sj}^r$  попереднього рангу на основі принципу оптимізації за напрямком. Шлях в множині  $m_{sp}^{r=r+1}$  може бути сформований, якщо він задовольняє властивості. Якщо властивість  $v$  не виконується, то шлях виключається з подальшого аналізу. У освічених

множинах  $m_{sp}^{r=r+1}$  виділяємо локальні екстремуми  $\left\{ \begin{matrix} * r=r+1 \\ \mu_{sp} \end{matrix} \right\}$ .

*КРОК 4.* Виконуємо процедуру виділення  $m$ -мірного коридору на всьому сформованому ранзі  $r = r + 1$ . Для цього послідовно перевіряються всі множини  $m_{sp}^{r=r+1}, p = (\overline{r+1, n})$ , відповідно до стратегії  $L_{13}$  і проводиться відсікання неперспективних векторів за правилом  $K_4$ .

*КРОК 5.* Перевіряється, чи вся множина шляхів наступного  $(r+1)$ -го рангу порожня. Якщо це так, то переходимо до кроку 6, якщо ні, то перевіряємо  $r = (n-1)$ . У разі виконання рівності також переходимо до кроку 6, інакше збільшуємо  $r$  на 1 і виконуємо крок 2.

*КРОК 6.* Виділяємо в множині, шлях максимальної довжини і алгоритм  $A_8$  закінчує роботу.

Таким чином, на основі принципу оптимізації за напрямком у дискретному просторі станів, який визначається графом  $D\Delta$  вдалося побудувати точні алгоритми для вирішення як одновимірного, так і багатовимірного завдання ЦЛП з БЗ. Покажемо, що для зниження загальної тимчасової складності, за рахунок звуження ширини коридору і вагою функціонала, доцільно використовувати багатоетапну фільтрацію.

### **3.3 Аналіз проблеми розробки методологічних основ інтелектуального управління засобами завадозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення**

#### **Вступ**

Характер збройної боротьби у війнах і збройних конфліктах ХХІ ст. зумовлює виникнення і розвиток фундаментальних змін в основних положеннях воєнної стратегії, оперативного мистецтва та тактики дій військ (сил). Зокрема, війна доповнюється новою складовою – інформаційною [232–234, 237]. Досягнення інформаційної переваги є об'єктивною необхідністю успішного ходу ведення бою (операції) [238].

Серед концепцій, що засновані на застосуванні “жорсткої сили”, найбільш показовими є так звана “мережецентрична концепція ведення бойових дій”, що розроблена американськими фахівцями, та “концепція інтегрованого бойового простору”, що запропонована військовими фахівцями Великої Британії [237-240].

Сутність “мережецентричної концепції ведення бойових дій” полягає в інтеграції окремих інформаційних та телекомунікаційних ресурсів у єдиний інформаційний простір угруповань військ (сил) у районі конфлікту.

Основними особливостями сучасних воєнних конфліктів, на які орієнтована “концепція інтегрованого бойового простору”, є:

- розподіленість операційного простору;
- участь у конфлікті різнорідних сил та засобів;
- асиметричний характер бойових дій;
- масоване застосування високоточної керованої зброї.

Високий ступінь інтегрованості та синергії дій сил та засобів при цьому досягається також за рахунок створення єдиного інформаційного простору угруповання військ (сил) у районі конфлікту.

Військове керівництво армій технічного розвинутих країн світу у відповідності до нових підходів до будівництва збройних сил (ЗС) особливу

увагу приділяє розвитку систем управління (СУ) як головного фактору у досягненні воєнно-стратегічної переваги.

Основними особливостями процесу управління військами, і озброєнням є [238, 241-250]:

значна інформаційна потреба органів управління в різнотипній інформації;  
підвищена мобільність підрозділів і частин;

висока динаміка переміщень угруповань військ у цілому;

розосереджене розгортання військ на територіях, розділених силами противника;

інтеграція систем зв'язку, навігації, розвідки й автоматизації та ін.;

єдиний інформаційний простір для всіх його учасників;

орієнтація на безпосередніх учасників бойових дій;

децентралізація процесів управління ресурсами мережі.

При цьому при удосконаленні СУ спостерігається наступні тенденції [241]:  
глобалізація СУ;

ретельне планування операцій (бойових дій) за допомогою різних методів моделювання;

зростання значення інформаційного фактору та необхідність захисту інформаційного середовища систем управління структур, що забезпечують безпеку та оборону держави.

У відповідності з системно-інтегрованим підходом до форм і методів ведення збройної боротьби на перший план виходить необхідність забезпечення оперативних можливостей для організації взаємодії і спільного застосування різнорідних сил і засобів у спільних операціях (бойових діях).

В умовах високої ймовірності локальних (регіональних) збройних конфліктів технічно розвинені країни світу приділяють особливу увагу вдосконаленню систем зв'язку різних рівнів управління, як складової частини системи управління [241]. Аналіз ряду робіт [238, 239, 241, 257–260] показує, що системи зв'язку провідних країн світу на даний час побудовані за класичною трьохрівневою схемою на основі нових інформаційних технологій з інтеграцією



послуг у цифрових мережах, які забезпечують передачу різних видів повідомлень із гарантованою якістю та достовірністю.

На рис. 1 наведено графічне представлення концепції організації зв'язку у Збройних Силах провідних країн світу.

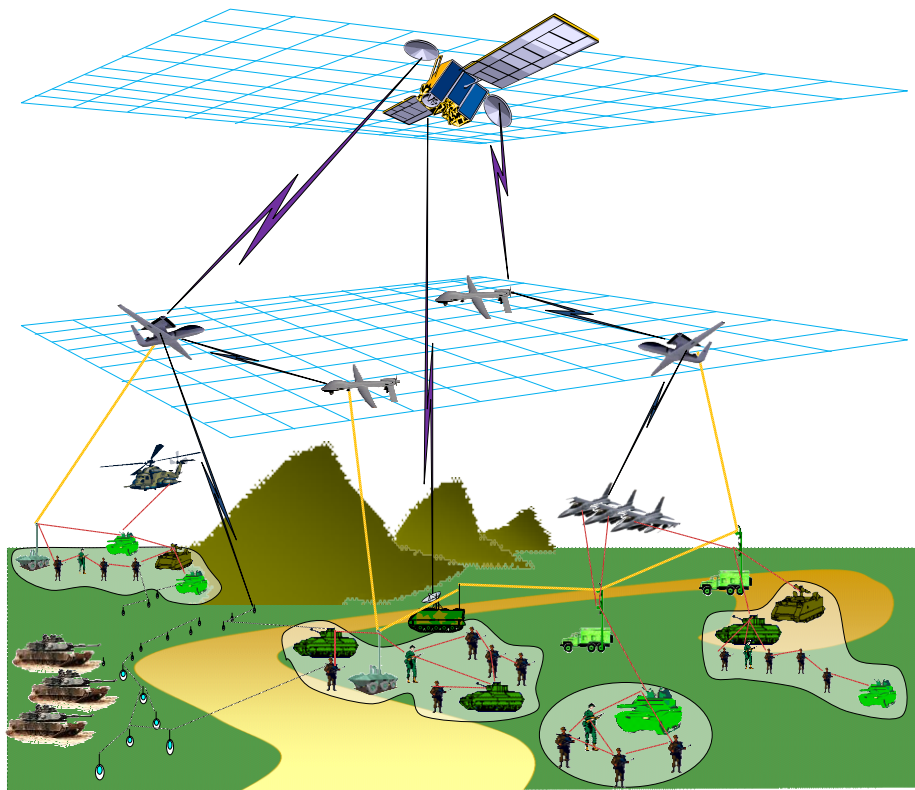


Рис. 1. Графічне представлення концепції побудови глобальної інтегрованої системи зв'язку та передачі даних

Враховуючи зростаючі потреби в пропускній спроможності каналів зв'язку для перспективних формувань [239, 247, 249], “безшовній” передачі усіх видів інформації в реальному масштабі часу по одних і тих же широкосмугових каналах зв'язку, розробники систем зв'язку спеціального призначення провідних країн розглядають архітектуру перспективних систем зв'язку, що структурована не за належністю до тієї або іншої підсистеми (ланки управління, районної системи зв'язку загального користування, системи зв'язку поля бою, комплексній системі розподілу даних і т.п.), а за рівнями розгортання сил та засобів зв'язку: наземному, повітряному та космічному компонентах (рис. 1 та рис. 2). Розглянемо принципи побудови перспективних систем зв'язку на

прикладі концептуальної схеми перспективної інтегрованої системи зв'язку та передачі даних (ІСЗ ПД) (рис. 1), та на узагальненій схемі організації зв'язку ЗС РФ (рис. 2).

Планується, що перший (наземний) рівень включатиме наземні тактичні мережі зв'язку, побудовані за принципом комп'ютерних мереж локального і регіонального масштабів, і глобальну високошвидкісну опорну мережу зв'язку на основі магістральних волоконно-оптичних, супутникових, радіорелейних і тропосферних ліній, а також мережі автоматизованого комутаційного устаткування нового покоління.

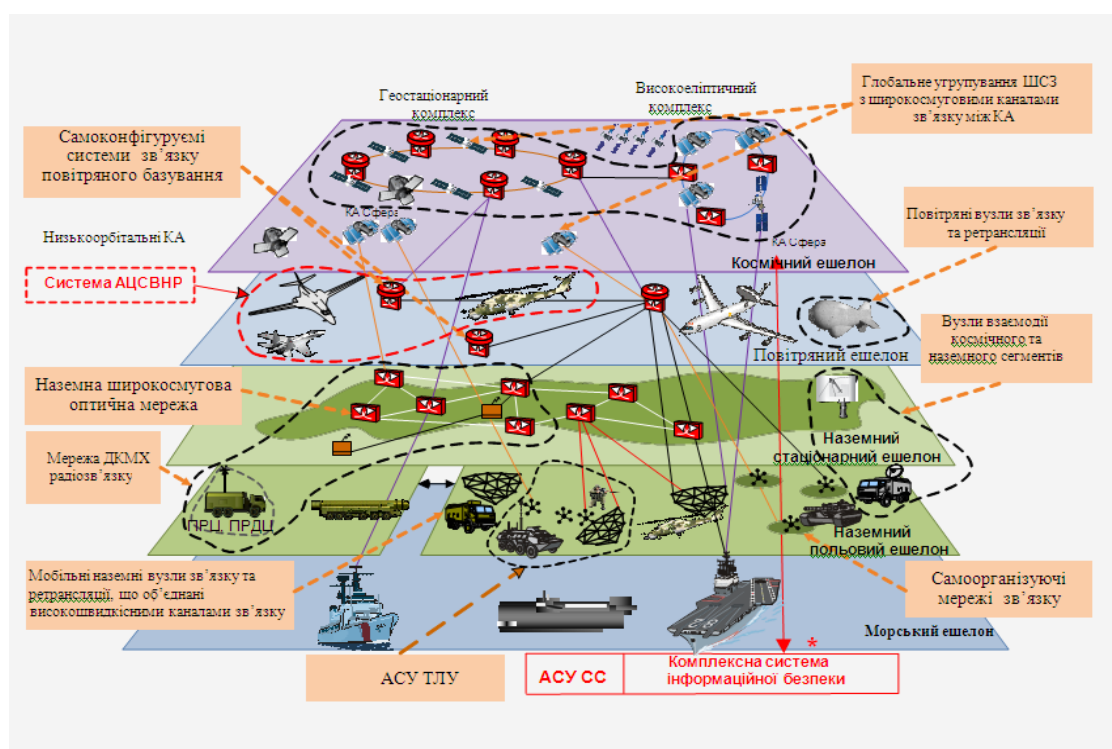


Рис. 2 Узагальнена схема організації зв'язку ЗС РФ

Другий рівень, побудований на повітряних платформах, включатиме багатоканальні засоби зв'язку та ретрансляції повітряного базування, передусім на безпілотних літальних апаратах, які застосовуватимуться в якості ретрансляторів для обміну інформацією між окремими тактичними мережами у віддалених один від одного районах ведення бойових дій або усередині одного району для зниження загального навантаження на мережі, що обслуговують занадто великий трафік.

Третій (космічний) рівень – це система зв'язку космічного базування, що включає штучні супутники Землі, які сполучаються між собою лініями міжсупутникового зв'язку, та розгалужену мережу наземних станцій. Його завданням є надання зв'язку абонентам об'єднаних оперативних формувань в глобальному масштабі.

В той же час основними технічними вимогами для наступного покоління систем зв'язку є:

інтеграція всіх видів трафіка (мова, дані, відео, відеоконференція);

повна мобільність всіх абонентів і елементів мережі;

забезпечення заданої якості обслуговування користувачів (QoS) на значних географічних територіях в умовах застосування як звичайної, так і ядерної, біологічної та хімічної зброї;

шифрування усіх видів інформації;

мінімальна участь людини в питаннях планування та ведення зв'язку.

Таким чином, бурхливий розвиток інформаційних технологій зумовлює виникнення нових принципів воєнного мистецтва та принципів управління. Вдосконалення систем зв'язку і інформатизації різних ланок управління, як складової частини системи управління повинно бути спрямовано на забезпечення виконання вимог сучасного бою.

### ***Виклад основного матеріалу дослідження***

Відповідно до Стратегії національної безпеки України, Стратегічного оборонного бюлетеня України та Стратегії воєнної безпеки України, Збройні Сили України (ЗС України) повинні бути спроможними в будь-якій ситуації захистити суверенітет, територіальну цілісність та недоторканність кордонів нашої держави [232–234, 239, 241, 257–260].

Досвід останніх воєнних конфліктів у світі та бойових дій складових сектору безпеки і оборони в операції Об'єднаних сил, антитерористичній операції на сході нашої держави та в ході відсічі повномасштабній збройній агресії російської федерації свідчить про суттєві зміни способів ведення сучасних бойових дій внаслідок удосконалення засобів розвідки та ураження,

впровадження в управління ними новітніх інформаційних технологій [237, 238].

Основу перспективних систем зв'язку сектору безпеки і оборони складуть вже існуючі стаціонарні опорні мережі зв'язку, підсилені за рахунок модернізації обладнання і будівництва нових напрямків зв'язку підвищеної живучості між опорними центрами комутації та вузлами зв'язку, а також розгортанням мобільних компонентів систем зв'язку.

Системам радіозв'язку складових сектору безпеки і оборони відведена особлива роль у функціонуванні систем зв'язку [237, 238, 239]. Враховуючи високу мобільність складових сектору безпеки і оборони засоби радіозв'язку в багатьох випадках є єдиним родом зв'язку, який дозволяє гарантовано здійснювати управління ними. Виходячи із цього, від якісного стану систем (засобів і комплексів) радіозв'язку складових сектору безпеки і оборони значною мірою залежить ступінь виконання ними поставлених бойових (спеціальних) завдань.

Досвід протистояння збройній агресії РФ на території України показав наступні недоліки існуючої системи радіозв'язку сектору безпеки і оборони України [237, 238, 250-260]:

засоби радіозв'язку складових сектору безпеки і оборони використовують обмежений частотний діапазон, що обумовлює проблему забезпечення електромагнітної сумісності та захисту від навмисних перешкод;

відсутність механізмів захисту від кібернетичних атак;

робота в умовах апріорної невизначеності про радіоелектронну обстановку угруповань військ (сил);

зашумленість інформації, що циркулює в них;

технологічна перевага засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника, що обумовлена широким спектром алгоритмів постановки перешкод з комбінуванням ефективних спектрально-енергетичних перешкод;

новітніми формами впливу на систему радіозв'язку сектору безпеки і оборони та ін.

Сьогодні в арміях практично всіх розвинутих країн світу відбуваються

певні процеси трансформації, які пов'язані насамперед з розробкою та введенням в експлуатацію нових бойових систем та їх систем управління. Лідерами у цьому напрямку є збройні сили США, Великої Британії, Франції, Швеції, у яких розробляються наступні програми [247].

Програма FCS (BCT) – Future Combat Systems (Brigade Combat Team) – програма “Бойові системи майбутнього” (бригадної бойової групи). Діє у Сухопутних військах ЗС США з 2010 року.

У середині 2015 р. міністерство оборони Великої Британії оголосило про реалізацію програми FRES (Future Rapid Effects Systems – Майбутня система швидкого впливу), що передбачає придбання 3500 – 3775 бойових броньованих машин (ББМ) середньої вагової категорії до 2030 р. Всі машини будуть мати можливість входження у єдине інформаційне середовище “бойового простору”.

З метою реалізації програми майбутньої бойової системи BOA (Bulle Operationnelle Aeroterrestre – Повітряно-наземне бойове об'єднання) Франція попередньо визначила майбутнє своєї “Армії 2025”. Управління DGA (Delegation Generale Pour L'Armement) Міністерства оборони Франції підписало контракт із фірмою Thales на розробку концепції і демонстрацію бойової системи BOA. Усі елементи цієї системи будуть підключені в єдину інформаційну мережу.

Інтегруючою складовою усіх перелічених систем є розгалужена інформаційна мережа, яка дозволяє кожному елементу безперешкодно взаємодіяти зі всіма типами наземних та повітряних систем, основу якої складають саме засоби радіозв'язку.

В рамках зазначених програм передбачено створення та впровадження: сенсорів, безпілотних літальних апаратів, роботів та бойових машин різного призначення, що підключені до єдиної інформаційної мережі.

Аналіз програм розвитку систем озброєння збройних сил передових країн світу та їх систем управління дозволяє визначити такі основні тенденції.

1. Обов'язкове оснащення систем озброєння різного призначення потужними бортовими обчислювальними та телекомунікаційними системами з

метою створення інформаційної моделі обстановки, автоматизованого (автоматичного) наведення та управління зброєю в режимі реального часу.

2. Створення бойових платформ різного призначення за функціональним принципом на основі сумісності інформаційно-управляючих систем зразків озброєння для виконання задач, що виникають у виконання завдань за призначенням.

3. Інтеграція окремих інформаційних ресурсів інформаційно-управляючих систем зразків озброєння в інформаційний ресурс загальної інформаційно-управляючої системи озброєнням в районі конфлікту з метою синергетичного об'єднання можливостей різнорідних засобів для виконання широкого кола завдань у бою та операції [249].

Радіозв'язок є однією зі складових частин концепції США і країн НАТО під умовною позначкою C<sup>4</sup>I<sup>2</sup> (Command – командування, Control – управління, Communication – зв'язок, Computer – комп'ютер, Intelligence – розвідка, Information – інформація) [249, 255, 259, 262, 257-260], що дозволяє пов'язати процеси збору, обробки, передачі, відображення і використання інформації для підготовки та ведення операцій (бойових дій) з максимальною ефективністю.

Основні напрямки розвитку систем радіозв'язку технічно розвинутих країн світу передбачаються наступне:

1. Системи (мережі, канали) радіозв'язку спеціального призначення:

поєднання прямих і комутованих ліній радіозв'язку малої і середньої дальності, що дозволяють здійснювати передачу інформації в обхід вузлів, що вийшли з ладу та радіоліній із-за дії засобів ураження та РЕБ;

комплексного використання радіоспектру в КХ та УКХ діапазонах, що дозволяє організовувати радіозв'язок з використанням різних механізмів поширення радіохвиль.

Досягнення завадостійкості, завадозахищеності та пропускну здатності мереж і каналів спеціального призначення повинно здійснюватися на основі:

багатопараметричної адаптації при організації, веденні і відновленні радіозв'язку (по частоті, швидкості і режимам передачі, просторової орієнтації діаграм спрямованості антенно-фідерних пристроїв;

компенсації потужних природних завад і навмисних перешкод, а також заважаючого випромінювання власних радіопередавальних пристроїв;

пакування інформації і динамічної маршрутизації пакетів з урахуванням інформаційного навантаження і умов ведення зв'язку;

оптимального поєднання прямого виправлення помилок і процедури додаткового запиту ARQ (Automatic Repetition Query) при передачі із застосуванням ефективних способів кодування;

контролю зв'язності радіомереж і якості радіоліній на основі когнітивного радіо (використання зондуючих і тестових сигналів, прогнозування умов поширення радіохвиль, зайнятості радіочастотного діапазону і оцінки сигнально-завадової обстановки);

використання цифрових методів формування і обробки перспективних видів оптимальних сигнально-кодових конструкцій, що забезпечують високошвидкісну передачу даних, при цьому не погіршуючи параметри завадостійкості;

функціональній незалежності мереж радіозв'язку від систем зовнішньої синхронізації (навігаційні системи) для забезпечення автономного функціонування в умовах ураження вказаних систем із застосуванням ефективних алгоритмів входження в зв'язок і підтримки синхронізму на основі високостабільних генераторів.

Моделювання процесу функціонування мереж і каналів радіозв'язку спеціального призначення, обґрунтування принципів побудови і розробка способів їх реалізації включає:

опис і типові схеми організації мереж, склад комплексів засобів радіозв'язку вузлів різних рангів;

питання забезпечення комплексної інформаційної безпеки і захисту мереж радіозв'язку від технічних засобів розвідок;

порівняльну оцінку ефективності схем (варіантів) організації радіозв'язку;

оцінку ймовірно-часових характеристик доведення інформації в мережах і каналах радіозв'язку в умовах дії дестабілізуючих факторів.

## 2. Вузли та центри радіозв'язку спеціального призначення:

модульна побудова уніфікованих радіоцентрів різних рівнів, що забезпечують нарощування функціональних можливостей шляхом розмноження типових модулів;

групове використання радіозасобів замість існуючого їх закріплення за радіонапрямами;

цифрові способи автоматичного формування і реконфігурації топології радіомереж;

сполучення рознесених елементів розподілених радіоцентрів на основі стандартних інтерфейсів і сучасних телекомунікаційних технологій;

забезпечення переходу від взаємодії по різнорідних стиках (як для ліній передачі даних, так і для ліній управління) до уніфікованого рішення, що дозволить істотно спростити завдання сполучення технічних засобів і перенести його з області програмно-апаратних рішень в область програмних завдань, одночасно підвищивши її гнучкість і масштабованість.

## 3. Комплекси і засоби радіозв'язку спеціального призначення:

створення приймальних, передавальних, антенно-апаратних комплексів і комплексів радіочастотного забезпечення;

побудова комплексів і засобів радіозв'язку на основі концепції SDR (Software-defined radio) і SCR (Software Cognitive Radio), що дозволяє в межах життєвого циклу апаратної бази розвивати функціональність пристроїв і ефективно використати радіочастотний спектр на основі вдосконалення програмного забезпечення, що забезпечує різні, у тому числі нові алгоритми;

створення комплексів і засобів радіозв'язку, що забезпечують на програмно-апаратній платформі виконання мережами радіозв'язку функцій фізичного, каналного і мережевого рівнів, а при управлінні функціонуванням



мережі – також транспортного, сеансового представницького і прикладного рівнів.

4. Антенно-апаратні комплекси систем радіозв'язку спеціального призначення.

Розробка антенно-апаратних комплексів що забезпечують можливість заводостійкого прийому інформації одночасно на декількох ділянках частот робочого діапазону від заданої кількості територіально рознесених кореспондентів на основі формування керованих просторових діаграм спрямованості спеціальної форми, реалізації необхідних значень чутливості по електромагнітному полю, живучості і надійності в умовах дії різного роду дестабілізують чинників.

5. Програмно-апаратні комплекси радіопрогнозування і планування використання радіочастотного ресурсу:

створення автоматизованих мереж інтелектуального радіопрогнозування;  
розробка моделей розрахунку характеристик поширення радіохвиль в КХ діапазоні, у тому числі з використанням результатів зондування іоносфери;

створення динамічних моделей дії природних завад і навмисних перешкод;

оцінка статистичних параметрів рівнів завад в реальному масштабі часу.

забезпечення завчасної і оперативної оцінки характеристик поширення радіохвиль і завадової обстановки;

забезпечення постійного і безперервного контролю завадової обстановки за декількома списками (банками) частот;

видача в реальному масштабі часу рекомендацій по вибору робочих частот по декільком критеріям;

розробка моделей оцінки стійкості функціонування каналів радіозв'язку, характеристик поширення радіохвиль і перешкод в різних ділянок діапазонів хвиль;

проведення розрахункової оцінки стійкості радіозасобів, антенно-фідерних пристроїв і обладнання захисту при дії напруги, струмів і енергій, що

наводяться в антенних пристроях і трактах фідерів електромагнітного випромінювання природного і штучного походження та ін.

Таким чином, на основі аналізу існуючих і перспективних систем зв'язку найбільш розвинених країн світу та досліджень проведених в частині систем радіозв'язку можна сформулювати такі висновки.

1. Системам та засобам радіозв'язку відведена одна з основних ролей у функціонуванні систем зв'язку сектору безпеки і оборони на різних рівнях управління.

2. Засоби радіозв'язку, що перебувають на озброєнні сектору безпеки і оборони не в повній мірі відповідають сучасним вимогам до системи зв'язку в частині завадозахисту в складній радіоелектронній обстановці. Зазначене обумовлює необхідність пошуку шляхів підвищення ефективності системи радіозв'язку сектору безпеки і оборони за допомогою вдосконалення існуючої та доповнення її новими елементами, побудованими на основі нових принципів організації зв'язку.

3. Основними напрямками розвитку систем радіозв'язку передових країн є розробка та впровадження програмованих радіозасобів з використанням завадозахищених режимів роботи, комерційних технологій, які добре зарекомендували себе в телекомунікаційних мережах загального призначення, та алгоритмів інтелектуального управління, спрямованих на боротьбу з постановкою навмисних перешкод і іншими дестабілізуючими впливами на СРЗ тощо.

Більшість експертів сходяться до того, що застосування зразків озброєння та військової техніки суттєво впливає військову стратегію, і заявляють, що надмірна опора на високі технології може призвести до нової вразливості, якою скористаються противники.

Разом з тим, мають місце проблемні питання стосовно [247–250]:  
сумісності інформаційних систем об'єднаних військ;

наявності достатньої пропускної здатності каналів зв'язку і обчислювальних ресурсів для створення адекватної інформаційної моделі радіоелектронного конфлікту;

можливості оперування великими обсягами інформації в ході ведення мережецентричної війни.

Основна парадигма ведення війн в найближчих десятиліттях буде заснована на концепції управління бойовими діями за мережецентричним принципом на основі об'єднання засобів функціонально взаємопов'язаних підсистем: інформаційної, сенсорно-розвідувальної та бойової на основі єдиного мережецентричного середовища.

При цьому основними характерними рисами системи ведення збройної боротьби при реалізації мережецентричного принципу управління будуть наступні [247–250]:

засоби збройної боротьби є інформаційно насиченими і містять в своєму складі елементи мережевої інформаційної інфраструктури;

скорочуються тривалість циклу прийняття рішень, виникає необхідність врахування додаткових факторів в процесі управління, що вимагає збільшення пропускної здатності інформаційної підсистеми;

прийняття управлінських рішень з урахуванням автоматизованих систем управління, заснованих на інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень (ІСППР);

апаратно-програмні засоби, що забезпечують взаємодію всередині телекомунікаційних мереж, формують складну мережеву глобальну інформаційну інфраструктуру;

елементи мережевої інфраструктури (засоби збройної боротьби, забезпечення, управління і комунікації) за своєю суттю є інформаційно-обчислювальними системами різного рівня складності і організації.

У той же час мережецентрична система управління буде вразлива за наступними напрямками [249–260]:

руйнування інформаційних потоків, що циркулюють між елементами системи;

зниження швидкості інформаційного обміну між елементами системи, що дозволить різко збільшити тривалість циклу “виявлення-ідентифікації-цілевказання-ураження” і звести до мінімуму ефективність мережецентричного принципу управління;

забезпечення достатньо масованого і довготривалого виведення з ладу мережеутворюючих засобів.

Разом з тим проведений аналіз використання існуючої “традиційної” тактики придушення і застосування комплексів і засобів радіоелектронного придушення (РЕП) показав, що вони недостатньо ефективні при використанні противником мережецентричного принципу управління.

В ієрархічній системі управління при впливі засобами РЕП на будь-якому рівні ієрархічної системи управління, відбувається блокування проходження інформації до елемента системи, який придушується і, як наслідок, невиконання ним бойового завдання [238].

Таким чином, форми і способи застосування комплексів і засобів РЕП, розроблені до появи концепції мережецентричного управління, будуть неефективні проти збройних формувань, що управляються через єдине мережецентричне середовище. У подібній системі повністю перекрити канали інформаційного забезпечення та управління практично неможливо.

Для порушення роботи такої системи необхідно виключити всі канали управління і передачі інформації або вивести з ладу всі технічні або бойові засоби. Фактично ефект може бути досягнутий, якщо в системі блокується значний сегмент або виключається передача інформації по будь-яких каналах в певному районі або зоні. Вирішення такого завдання вимагає розробки нових комплексів і засобів РЕП і, відповідно, нових форм і способів їх застосування [238, 249–260].

Узагальнюючи вищезазначене, можна зробити наступні висновки [238, 249–260]:

існуючий підхід щодо оцінки впливу засобів РЕП на окремі елементи системи зв'язку як основи мережецентричного середовища є неефективним;

впливаючи на інформаційну інфраструктуру мережецентричного середовища, технічну основу якого складають системи зв'язку, можна досягти значного ефекту дестабілізації даної системи.

Вплив територіально розподіленого різнорідного угруповання засобів РЕП дозволить реалізувати наступні з основних напрямків протидії мережецентричним системам, що сформульовані раніше [238, 249–260]:

руйнування інформаційних потоків, що передаються в мережецентричному середовищі;

зниження швидкості інформаційного обміну між елементами мережецентричних систем;

забезпечення достатньо масованого і довготривалого виведення з ладу мережеутворюючих засобів.

Виходячи з наведених вище аргументів, представляється можливим сформулювати ряд підходів до оцінки реалізації деструктивного впливу на системи радіозв'язку, що утворюють мережецентричної системи управління.

До останнього часу основна частина робіт з РЕБ була присвячена вирішенню завдань придушенню окремих ліній радіозв'язку, тобто придушенню на фізичному рівні моделі взаємодії відкритих систем OSI (Open Systems Interconnection).

Є окремі дослідження, присвячені придушенню мереж радіозв'язку з урахуванням їх структури, логіки функціонування і цінності переданої інформації. Разом з тим, аналізуючи можливості використання “традиційних” засобів РЕП, можна прийти до висновку, що їх вплив можливий і на інші об'єкти транспортної підсистеми моделі OSI (фізичний, каналний, мережевий і транспортний рівні).

Об'єктами РЕП на фізичному рівні традиційно є радіоелектронні засоби та канали зв'язку. На каналному рівні до таких об'єктів належать канали множинного доступу, призначені для утворення окремих мереж.

До об'єктів РЕП на мережевому рівні моделі OSI відносяться вузли, транспортні канали об'єднаної мережі радіозв'язку, а також протоколи маршрутизації і сигналізації, що забезпечують їх функціонування.

На транспортному рівні до об'єктів впливу слід віднести протоколи і апаратно-програмні засоби забезпечення якості обслуговування інформаційних потоків, що передаються по об'єднаній мережі зв'язку.

При цьому дані впливи дозволяють організувати нові перешкоди на фізичному рівні, які, з одного боку, не визначаються існуючими засобами заводозахисту, а з іншого – орієнтовані на зниження ефективності функціонування протоколів мережевого і транспортного рівня, через те, що викликають ряд негативних ефектів на цих рівнях [238, 249–260].

Розглянемо деякі з перспективних напрямків розробки засобів РЕП, орієнтованих на придушення об'єднаних мереж зв'язку за рахунок врахування особливостей функціонування протоколів на каналному, мережевому та транспортному рівнях моделі OSI.

Основною особливістю розглянутих впливів є облік динаміки впливу завод, що дозволяє розглянути динамічні нестационарні і перехідні режими в об'єктах придушення, а також функціональні залежності між протоколами на різних рівнях моделі OSI.

При цьому безпосереднім об'єктом впливу будуть окремі лінії радіозв'язку і радіомережі, що функціонують у складі об'єднаних мереж зв'язку. Таким чином, перспективні способи придушення об'єднаних мереж зв'язку будуть використовувати ефекти деструктивного впливу засобів РЕП на фізичному рівні як основу для формування ефектів дестабілізації на вищих рівнях моделі OSI – каналному, мережевому та транспортному [241].

Розглянемо основні види впливів, що можуть бути застосовані в мережецентричній системі управління.

1. Засоби РЕП, орієнтовані на придушення окремих мереж множинного доступу.

Дослідження можливостей РЕП з придушення протоколів зв'язку на каналному рівні, представлені в роботах [238, 249–260], показали, що пакетним радіомережам, які використовують для передачі пакетів у загальний канал з випадковим множинним випадковим доступом властива нестабільність функціонування.

Даний спосіб РЕП, орієнтований на каналний рівень OSI, може бути здійснений “традиційними” засобами РЕП за рахунок введення режиму динамічних перешкод, часові параметри яких узгоджені з параметрами протоколу випадкового множинного доступу, що використовується в радіомережі.

Динамічна РЕП дозволяє здійснити переведення радіомережі в нестационарний режим роботи, збільшити тривалість і глибину перехідних процесів в них. Збільшення інтенсивності впливів дозволяє перевести радіомережі в їхній заблокований статус внаслідок зниження інтенсивності обслуговування ними вхідного потоку пакетів нижче критичних значень.

2. Засоби РЕП, орієнтовані на придушення об'єднаних територіально розподілених змішаних мереж радіозв'язку.

Принцип дії перешкодами з динамічно змінюваними параметрами для варіювання пропускної здатності каналів в їх робочому діапазоні відношення сигнал/завада (щоб виключити спрацьовування засобів завадозахисту фізичного рівня) в подальшому розвивався для розробки засобів РЕП, орієнтованих на придушення об'єднаних мереж зв'язку за рахунок врахування особливостей функціонування їх протоколів на мережевому рівні моделі OSI.

Для врахування ефектів динамічного РЕП на мережевому рівні було запропоновано перерахунок якості обслуговування окремих мереж і каналів радіозв'язку в коефіцієнти метрики мережі, які використовуються відповідними протоколами при вирішенні задач сигналізації в мережі і маршрутизації в ній інформаційних потоків. Періодична зміна відношення сигнал/завада в каналі (як в сторону збільшення, так і в бік зниження) призводить до видачі повідомлень про зміну метрики каналу, які, в свою чергу, ведуть до зупинки процесу передачі

і перерахунку топології мережі. Інтенсивність даних повідомлень прямо пропорційна періодичності і глибині зміни відношення сигнал/завада, а час між окремими повідомленнями в загальному випадку може бути апроксимований експоненціальним розподілом.

Вищевказані перспективні напрямки розробки засобів РЕП, орієнтованих на мережевий рівень моделі OSI, можуть бути реалізовані територіально-розподіленими “традиційними” комплексами РЕП за рахунок введення режиму динамічних перешкод, часові параметри яких узгоджені з параметрами протоколу маршрутизації використовуваних у мережі, що подавляється.

3. Засоби РЕП, орієнтовані на порушення функціонування протоколів забезпечення якості обслуговування в об'єднаних мережах зв'язку.

Перспективним напрямком розробки засобів РЕП, орієнтованих на придушення об'єднаних мереж на транспортному рівні моделі OSI, є розробка впливів, орієнтованих на формування трафіку і порушення функціонування протоколів забезпечення якості обслуговування.

Так, перспективними підходами з РЕП є впливи, орієнтовані на формування в каналі зв'язку потоку пакетів складної структури з коефіцієнтом варіації більше одиниці і суттєво відрізняється від найпростішого.

Варіант такого РЕП представлений в роботі [257] і заснований на впровадженні додаткового імітаційного трафіку, що дозволяє сформувати вихідний потік пакетів з каналу зв'язку зі структурою, що істотно відрізняється від найпростішого (коефіцієнт варіації більше одиниці). Відмінною особливістю цього РЕП є потреба в запровадженні додаткових пакетів, які є копіями раніше переданих пакетів, що в ряді випадків може привести до “руйнування” інформаційного потоку. Результати зазначених функціонування даного типу засобів РЕП, орієнтованих на формування переданого в мережі трафіку складної структури, критичного до затримок, показала, що стійкість мережі знижується за рахунок зниження своєчасності обслуговування трафіку в її вузлах і фактичного блокування вузлів, що передають складний трафік. Зазначений підхід з РЕП являють собою варіант складної DOS-атаки.



Крім того, ефект впливу проявляється в тому, що сформовані інформаційні потоки передаються далі по мережі, знижуючи своєчасність обробки і в інших вузлах. Таким чином, дані підходи з РЕП здатні адресно придушувати окремі інформаційні напрямки зв'язку. При цьому рівень зниження стійкості мережі при таких впливах пропорційний кількості модифікованих інформаційних потоків, їх швидкості, а також середній довжині напрямку зв'язку.

Таким чином, одним з перспективних способів протидії мережецентричній інтегрованій командній структурі є застосування способів РЕП, орієнтованих на синтаксичний шар мережецентричного середовища що порушують властивість доступності інформаційних ресурсів цього середовища за рахунок впливу на підсистему зв'язку.

Перспективні способи РЕБ, орієнтовані на придушення мереж, можуть використовувати ефекти деструктивного впливу на фізичному рівні як основу для формування ефектів придушення на каналному, мережевому і транспортному рівнях моделі OSI.

В цілому, новизною цих способів РЕП є використання “традиційних перешкод” для породження і розвитку внутрішньосистемних конфліктів в системі зв'язку на верхніх рівнях її функціонування.

Зокрема, розглядаються перешкоди з динамічно змінюваними параметрами, які призводять до перехідних і нестационарних процесів на верхніх рівнях OSI.

Досягнутий новий ефект – придушення мережі зв'язку в цілому, в тому числі і проводового сегменту, за рахунок впливу через радіоканали як своєрідні “точки входу”.

Одними з найважливіших вимог, що пред'являються до СРЗ і визначають їх ефективність, є завадозахищеність, пропускна спроможність і достовірність передачі повідомлень [232–235, 236, 238, 249–260].

Проведемо аналіз відомих підходів для вирішення зазначеного питання.

В роботі [241] визначена тенденція до створення об'єднаних платформ апаратних засобі радіочастотної та цифрової обробки сигналів для спільного вирішення комунікаційних і радіолокаційних завдань. Разом з тим, у зазначеній

роботі не наведено конкретних механізмів управління параметрами мереж зв'язку стандарту GSM для моніторингу повітряного простору.

В роботі [242] проведено обґрунтування шляхів підвищення ефективності систем транкінгового зв'язку України. Разом з тим, зазначений тип засобів радіозв'язку є не стійким до впливу засобів РЕП.

В роботі [243] проведено розробку шляхів підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу в когнітивних радіомережах. Разом з тим, в зазначеній роботі не розглядається вплив розташування засобів РЕП на якість зв'язку в радіомережі.

В роботі [244] пропонується алгоритм вибору динамічного каналу, заснований на системі нечіткого висновку (FIS), здатний вибрати найбільш доступний канал з бажаною смугою пропускання, мінімально необхідним відношенням сигнал/шум та ймовірністю виявлення промаху. До недоліків запропонованого алгоритму відноситься не врахування впливу навмисних завад засобами РЕП.

В роботі [245] проведено розробку контролера доступу до радіоресурсу на основі ковзаючого вікна. Разом з тим, зазначений контролер не дозволяє враховувати дестабілізуючі фактори, що присутні в каналах радіозв'язку, такі як навмисні перешкоди та завмирання.

В роботі [246] запропоновано методику моніторингу радіочастотного спектру та архітектури мережі, для регулювання розподілу спектру та управління використанням спектру частот радіозв'язку. Разом з тим, запропонований підхід не дозволяє виробляти заходи, що спрямовані на підвищення завадозахищеності радіомереж спеціального призначення.

В роботі [247] запропонований алгоритм управління параметрами когнітивних радіомереж, а саме: оптимальної потужності, оптимальної швидкості та оптимального обсягу інформації. Зазначене управління засноване на генетичному алгоритмі. Разом з тим, запропонований алгоритм враховує тільки взаємні завади, що спричинені взаємним впливом користувачів один на одного.

В роботі [248] запропонований метод визначення розташування засобів радіозв'язку в залежності від ефективності РЕП. Запропонований метод дозволяє підвищити ефективність ведення радіозв'язку, проте підвищення ефективності ведення радіозв'язку обмежено лише визначенням оптимального місцезнаходження засобів радіозв'язку.

В роботі [249] запропоновано використовувати алгоритми кластеризації для управління радіоресурсом засобів радіозв'язку. Запропонований алгоритм базується на розподілі радіочастот між кластерами. Разом з тим, зазначений підхід не дозволяє проводити адаптацію до впливу навмисних перешкод та реалізовувати інші механізми підвищення завадозахищеності.

В роботі [250] запропоновано використовувати штучний інтелект в задачах підвищення ефективності когнітивних радіомереж. Разом з тим, зазначене дослідження призначене лише для загального навчання (адаптації) когнітивних радіомереж без конкретизації чинників які впливають на її ефективність.

В роботі [251] запропоновані адаптивні алгоритми регулювання порогових значень параметрів систем радіозв'язку. Зазначене дослідження дозволяє виділити корисний сигнал на фоні шумів, адаптуватися до сигнальної обстановки. Разом з тим, зазначене дослідження не дозволяє в комплексі проводити управління параметрами систем радіозв'язку спеціального призначення.

Враховуючи те, що для управління фізичного, каналного та мережевого рівня моделі OSI потрібно проводити обробку різних за одиницями виміру та походженням вхідних даних, тому пропонується провести аналіз алгоритмів обробки різнотипних даних.

В роботі [252] проведено розробку узагальненої метрики в задачі аналізу багатовимірних даних з різнотипними ознаками. Сутність запропонованої метрики полягає в тому, що зазначена метрика дозволяє будувати алгоритми кластеризації, класифікації та асоціації, що засновані на ній, з використанням класичних методів обробки. Проте зазначена метрика не дозволяє ефективно функціонувати в умовах дефіциту обчислювальних ресурсів.

В роботі [253] розглянуто проблему обробки інформації від різнорідних технічних засобів моніторингу. Як можливий варіант вирішення проблеми запропоновано застосування узагальненої методики обробки інформації на основі методики кластеризації територіально суміщених інформаційних джерел моніторингу та використання фреймової моделі бази знань ідентифікації об'єктів моніторингу. Методику кластеризації сформовано на основі ієрархічної агломеративної процедури Ланса-Уільямса із застосуванням метрики Уорда. Фреймова модель бази знань побудована із використанням інструментальних засобів об'єктно-орієнтованого моделювання. До недоліків запропонованої узагальненої методики відноситься не врахування відносної значущості подій, що виникають та нездатність працювати в умовах дефіциту обчислювальних ресурсів. Також до недоліків зазначеної методики слід віднести неможливість перерозподілу обчислювальних ресурсів між елементами для підвищення оперативності обробки інформації.

В роботах [254, 255–262] наведений підхід з обробки різнотипних даних про стан каналу зв'язку. Сутність запропонованого підходу полягає в оцінці стану каналу зв'язку та трьома різнорозмірними показниками. Зазначений підхід вимагає повної інформації про стан каналу та накопичує помилку оцінювання в ході роботи.

Проведений аналіз робіт [232–262] дозволяє стверджувати про те, що існуючі наукові здобутки не дозволяють проводити наскрізне управління параметрами фізичного, каналного та мережевого рівня систем радіозв'язку спеціального призначення, а лише проводять окремі управляючі впливи на окремо взятому рівні моделі взаємодії відкритих систем. Все це не дозволяє ефективно використовувати наявний радіоресурс систем радіозв'язку спеціального призначення та комплексно протидіяти дестабілізуючим факторам, що впливають на ефективність функціонування військових радіомереж.

Управління радіоресурсом полягає в управлінні частотним, кодовим, часовим та енергетичним ресурсом між вузлами систем радіозв'язку, а також визначення ступеню впливу радіоелектронного придушення противника.

Управління топологією полягає в оперативній реконфігурації топології систем радіозв'язку та підключення резервних елементів (каналів, мобільних базових станцій та вузлів) в умовах ситуації що змінюється з метою задоволення підтримання заданої якості обслуговування.

Управління маршрутизацією полягає в побудові та підтримці маршрутів, передачі інформаційних потоків при заданій топології з метою задоволення показників якості обслуговування потоків.

Представимо зазначену функціональну структуру з позиції теорії графів у вигляді дерева. При цьому, кореню дерева поставимо в відповідність підсистему управління другого рівня  $(I_2, U_2)$ , а вершинами цього дерева, які знаходяться від кореня на відстані одного ребра –  $Q$  підсистему управління першого рівня  $(I_{11}, U_{11}), \dots, (I_{1q}, U_{1q}), \dots, (I_{1Q}, U_{1Q})$ . Кожна підсистема має у своєму складі блок контролю (ідентифікації)  $I$  та блок управління  $U$ . Введемо до розгляду  $Q$  підсистем нульового рівня, які знаходяться від кореня дерева на відстані двох ребер. Ці підсистеми представляють взаємодіючі між собою процеси обміну потоками оперативної та службової інформації в системи управління  $P_1, \dots, P_q, \dots, P_Q$  [256].

Для  $q$ -ї підсистеми управління першого рівня  $(I_{1q}, U_{1q})$ ,  $q = \overline{1, Q}$ , введемо наступні позначення:

$X_{1q}(k)$  – множина векторів, стан  $q$ -ї управляємої підмережі, де  $x_{1q}(k) = \{x_{1q}^a(k)\}$ ,  $a = \overline{1, a_{1q}}$ , розмірність  $a_{1q} \times 1$ ;

$\tilde{X}_{1q}(k)$  – множина векторів оцінок  $\tilde{x}_{1q}(k) = \{\tilde{x}_{1q}^a(k)\}$ ,  $a = \overline{1, a_{1q}}$ , розмірності  $a_{1q} \times 1$ ;

$U_{1q}(k)$  – множина векторів управління  $q$ -ї управляємої підмережі  $u_{1q}(k) = \{u_{1q}^b(k)\}$ ,  $b = \overline{1, b_{1q}}$ , розмірністю  $b_{1q} \times 1$ ;

$Y_{1q}(k)$  – множина векторів локальних змінних, які видаються в підсистему управління верхнього рівня  $y_{1q}(k) = \{y_{1q}^d(k)\}$ ,  $d = \overline{1, d_{1q}}$ , розмірністю  $d_{1q} \times 1$ ;

$Z_{1q}(k)$  – множина векторів локальних вихідних змінних  $z_{1q}(k) = \{z_{1q}^d(k)\}$ ,  $d = \overline{1, d_{1q}}$ , розмірністю  $d_{1q} \times 1$ .

Для підсистеми управління другого рівня відповідно:

$\tilde{X}_2(k)$  – множина векторів узагальнених оцінок  $\tilde{x}_2(k) = \{\tilde{x}_2^l(k)\}$ ,  $l = \overline{1, l_r}$ , розмірності  $l_r \times 1 = \left( \sum_{q=1}^Q a_{1q} \right) \times 1$ ;

$Y_{2q}(k)$  – множина векторів, які видаються в підсистему управління нижнього рівня  $y_{2q}(k) = \{y_{2q}^d(k)\}$ ,  $d = \overline{1, d_{2q}}$ , розмірністю  $d_{2q} \times 1$ ;

$Z_{2q}(k)$  – множина векторів, що координують вихідні змінні, що видаються в підсистему контролю нижнього рівня  $z_{2q}(k) = \{z_{2q}^d(k)\}$ ,  $d = \overline{1, d_{2q}}$ , розмірності  $d_{2q} \times 1$ .

У підсумку для  $q$ -ї підсистеми нульового рівня  $P_q$ ,  $q = \overline{1, Q}$ , маємо:

$C_{qp}(k)$  – множина векторів зв'язків  $c_{qp}(k) = \{c_{qp}^{mn}(k)\}$ ,  $m = \overline{1, m_q}$ ,  $n = \overline{1, n_q}$ , між  $p$ -ю та  $q$ -ю підсистемами ( $p, q = \overline{1, Q}$ ,  $p \neq q$ );

$\Pi_q(k)$ , – множина векторів зовнішніх впливів  $\pi_q(k) = \{\pi_q^l(k)\}$ ,  $l = \overline{1, l_q}$ , розмірністю  $l_q \times 1$ .

До множини векторів стану  $X(k) = \bigcup_{q=1}^Q X_{1q}(k)$  можуть входити вектори будь-яких змінних стану, що впливають на якість системи радіозв'язку та ефективність процесу функціонування системи радіозв'язку спеціального призначення. До основних з них можна віднести:

– вектор параметрів інформаційного навантаження системи радіозв'язку (характеризує кількість інформаційних повідомлень які необхідно передати за одиницю часу при заданій пропускній здатності):

$$\Lambda(k) = \|\Lambda_1(k), \dots, \Lambda_q(k), \dots, \Lambda_Q(k)\|^T. \quad (1)$$

– вектор затримок в передачі інформаційних повідомлень системи радіозв'язку (характеризується погіршенням пропускної здатності систем радіозв'язку спеціального призначення):

$$H(k) = \|H_1(k), \dots, H_q(k), \dots, H_Q(k)\|^T. \quad (2)$$

– вектор параметрів радіоелектронної обстановки системи радіозв'язку (кількість придушених робочих частот засобами РЕП, які не відповідають вимогам з пропускної спроможності):

$$\aleph(k) = \|\aleph_1(k), \dots, \aleph_q(k), \dots, \aleph_\rho(k)\|^T. \quad (3)$$

– вектор частотних ресурсів мережі системи радіозв'язку (загальна кількість робочих частот систем радіозв'язку):

$$\aleph(k) = \|\aleph_1(k), \dots, \aleph_q(k), \dots, \aleph_\rho(k)\|^T. \quad (4)$$

та інш.

У роботах [239, 240, 249–260] представлено розвиток моделі інформаційного конфлікту “класичного” РЕП і систем радіозв'язку в напрямку підвищення “багаторівневості” конфлікту та узгодження його з моделлю OSI. Дані роботи пропонують спільно з “класичним” інформаційним конфліктом із засобами РЕП врахувати нові способи впливу за рахунок декомпозиції інформаційного конфлікту системи зв'язку на окремі конфліктні ситуації на кожному з рівнів моделі OSI. Таким чином, запропонований роботах [239, 240, 249–260] новий концептуальний підхід до моделювання інформаційного конфлікту, з одного боку органічно розвиває існуючі роботи [232], [233], [238] в частині багаторівневого інформаційного конфлікту радіоелектронних систем, а з іншого – формалізує конфліктну взаємодію відповідно до рівнів еталонної моделі OSI. Дана концептуальна модель, є еталонною моделлю взаємодії конфліктуєчих систем CSI (Conflict System Interconnection Reference Model) формалізує об'єкти і загальні підходи до опису локальних інформаційних конфліктів в системі зв'язку на кожному з рівнів моделі OSI.

Орієнтовний взаємозв'язок між параметрами та управляючими змінними за рівнями моделі взаємодії відкритих систем наведено в табл. 1

Орієнтовний взаємозв'язок між параметрами та управляючими змінними за  
рівнями моделі OSI

Рівень OSI	Об'єкти управління	Основні параметри оптимізації	Управляючий вплив вузла
Фізичний	Радіоканал в межах радіозв'язності з сусідніми вузлами	Пропускна здатність, час передачі в каналі, витрати енергії батарей, потужність передачі, діаграма спрямованості антен тощо	Потужність (спрямованість) передачі, вид модуляції, тип корегуючого коду, параметри тощо
Канальний	Радіоканали в межах радіозв'язності з сусідніми вузлами	Пропускна здатність та час передачі в каналі, витрати енергії батарей, обсяг службової інформації тощо	Алгоритми обміну каналного рівня: детерміновані, випадкові, гібридні; розміри пакетів та квитанцій
Мережевий	Один або декілька маршрутів передачі	Обсяг службової інформації, параметри маршруту (час побудови та існування, кількість, пропускна здатність, час доставки, витрати енергії батарей тощо).	Алгоритми обміну мережевого рівня: табличні, зондові, гібридні, хвильові асиметричні, ієрархічні тощо. Алгоритми управління топологією
Транспортний	Інформаційний напрямок зв'язку	Пропускна здатність, час та варіація його передачі в напрямку	Алгоритми управління чергами. Розмір вікна перевантаження, час тайм-ауту тощо
Прикладний	Вузол, вузли-сусіди, зона мережі, вся мережа	Пропускна здатність, час та варіація часу передачі, витрати енергії батарей, безпека передачі	Алгоритми (протоколи) інформаційного обміну прикладного рівня, координація та інтелектуалізація за рівнями OSI

З аналізу табл. 1 можна зробити висновок, для ефективного управління параметрами радіомереж спеціального призначення потрібно проводити управління на декількох рівнях моделі OSI.

Властивість засобів зв'язку змінювати свої основні технічні характеристики шляхом перепрограмування дозволяє проводити управління як на фізичному,



каналному так і мережевому рівнях моделі OSI.

Узагальнений вираз інформаційного конфлікту системи радіозв'язку з урахуванням виразів (1)– (4) представлений в виразі (5).

$$\forall t \in \{1, \dots, T, \dots\} S_t = \left\{ \begin{array}{l} s_1^{(t)} F_1 \left( \begin{array}{l} \left( \varphi_{1,1} \left( s_1^{(t-1)} (X_1, \Pi_1, U_1, A_1, \Omega_1, Y_1, Q_1, N_1, M_1), \dots, s_1^{(t-L_1)} (X_1, \Pi_1, U_1, A_1, \Omega_1, Y_1, Q_1, N_1, M_1) \right), \dots \right) \\ \varphi_{1,N} \left( s_1^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_1 \times \chi_1, \\ s_2^{(t)} F_2 \left( \begin{array}{l} \left( \varphi_{2,1} \left( s_2^{(t-1)} (X_2, \Pi_2, U_2, A_2, \Omega_2, Y_2, Q_2, N_2, M_2), \dots, s_2^{(t-L_2)} (X_2, \Pi_2, U_2, A_2, \Omega_2, Y_2, Q_2, N_2, M_2) \right), \dots \right) \\ \varphi_{2,N} \left( s_2^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_2 \times \chi_2, \\ s_3^{(t)} F_3 \left( \begin{array}{l} \left( \varphi_{3,1} \left( s_3^{(t-1)} (X_3, \Pi_3, U_3, A_3, \Omega_3, Y_3, Q_3, N_3, M_3), \dots, s_3^{(t-L_3)} (X_3, \Pi_3, U_3, A_3, \Omega_3, Y_3, Q_3, N_3, M_3) \right), \dots \right) \\ \varphi_{3,N} \left( s_3^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_3 \times \chi_3, \\ s_4^{(t)} F_4 \left( \begin{array}{l} \left( \varphi_{4,1} \left( s_4^{(t-1)} (X_4, \Pi_4, U_4, A_4, \Omega_4, Y_4, Q_4, N_4, M_4), \dots, s_4^{(t-L_4)} (X_4, \Pi_4, U_4, A_4, \Omega_4, Y_4, Q_4, N_4, M_4) \right), \dots \right) \\ \varphi_{4,N} \left( s_4^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_4 \times \chi_4, \\ s_5^{(t)} F_5 \left( \begin{array}{l} \left( \varphi_{5,1} \left( s_5^{(t-1)} (X_5, \Pi_5, U_5, A_5, \Omega_5, Y_5, Q_5, N_5, M_5), \dots, s_5^{(t-L_5)} (X_5, \Pi_5, U_5, A_5, \Omega_5, Y_5, Q_5, N_5, M_5) \right), \dots \right) \\ \varphi_{5,N} \left( s_5^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_5 \times \chi_5, \\ s_6^{(t)} F_6 \left( \begin{array}{l} \left( \varphi_{6,1} \left( s_6^{(t-1)} (X_6, \Pi_6, U_6, A_6, \Omega_6, Y_6, Q_6, N_6, M_6), \dots, s_6^{(t-L_6)} (X_6, \Pi_6, U_6, A_6, \Omega_6, Y_6, Q_6, N_6, M_6) \right), \dots \right) \\ \varphi_{6,N} \left( s_6^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_6 \times \chi_6, \\ s_7^{(t)} F_7 \left( \begin{array}{l} \left( \varphi_{7,1} \left( s_7^{(t-1)} (X_7, \Pi_7, U_7, A_7, \Omega_7, Y_7, Q_7, N_7, M_7), \dots, s_7^{(t-L_7)} (X_7, \Pi_7, U_7, A_7, \Omega_7, Y_7, Q_7, N_7, M_7) \right), \dots \right) \\ \varphi_{7,N} \left( s_7^{(t-1)}, \dots, s_N^{(t-L_N)} \right) \end{array} \right) \times \iota_7 \times \chi_7, \end{array} \right. \quad (5)$$

де  $S$  – багатовимірний часовий ряд;  $s_t = (s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, \dots, s_N^{(t)})$  – часовий зріз стану системи радіозв'язку спеціального призначення представлений у вигляді багатовимірного часового ряду на  $t$ -й момент часу;  $s_j^{(t)}$  – значення  $j$ -го компонента багатовимірного часового ряду на  $t$ -й момент часу;  $L_j$  – максимальне значення часої затримки  $i$ -го компоненту відносно  $j$ -го;  $\varphi_{ij}$  – оператор для врахування взаємовпливу між  $i$ -им та  $j$ -им компонентом багатовимірного часового ряду;  $F_i$  – перетворення для отримання  $s^{(t)}$ ,  $i=1, \dots, N$ ;  $N$  – число компонентів багатовимірного часового ряду;  $\iota$  – оператор для врахування ступеню інформованості про засоби інформаційного впливу противника на систему радіозв'язку спеціального призначення;  $\chi$  – оператор для врахування ступеню зашумленості даних системи радіозв'язку спеціального призначення;

З виразу (5) можна зробити висновок, що вираз дозволяє описати процеси в

системі радіозв'язку спеціального призначення з урахуванням запізнь у часі. Затримки необхідні на збір, обробку та узагальнення інформації. Також у виразі (5) враховується ступінь інформованості про засоби інформаційного впливу противника та зашумленості даних, описуються процеси, що мають як кількісні так і якісні одиниці виміру.

### **Висновки**

Таким чином, на підставі аналізу особливостей застосування інтелектуальних методів у СРЗ при дії завад і РЕП можна зробити наступні висновки.

1. Основними методами підвищення ефективності функціонування СРЗ спеціального призначення в умовах активної радіоелектронної протидії, є поєднання ефективних управляючих впливів на фізичному, каналному та мережевому рівні моделі OSI (інтелектуальне управління потужністю передавача, діаграмою спрямованості антен, видом модуляції, типом корегуючого коду, алгоритмом обміну каналного рівня, алгоритмами обміну мережевого рівня (маршрутизацією) та алгоритмами управління топологією системи радіозв'язку спеціального призначення.

2. Через економічні та частотно-ресурсні обмеження, реалізовані в СРЗ, засоби завадозахисту виявляються ефективними в обмеженому діапазоні можливих заводових ситуацій. Тому перспективним напрямком підвищення ефективності СРЗ є застосування всього комплексу методів забезпечення завадозахисту на принципах інтелектуального управління з використанням вище названих підходів в залежності від зміни сигнальної та заводової обстановки.

3. Для ефективного функціонування СРЗ необхідно комплексне координування частотних, енергетичних, часових і інформаційних ресурсів радіоканалів в рамках інтелектуального управління засобами завадозахисту з врахуванням характеристик комплексу зовнішніх умов їх реалізації.

### **3.4 Результати оцінки ефективності алгоритмів рішення задачі цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними на основі рангового підходу**

#### **3.4.1 Оцінка ефективності складних систем**

Існує багато підходів щодо класифікації ефективності, а різноманітність визначень поняття “ефективність” свідчить про поліморфний характер даного визначення, так як кожне з трактувань характеризує термін “ефективність” з різних аспектів, важливість яких формується у відповідності до об’єкта та цілей дослідження.

Таким чином, як визначають автори роботи [265] “ефективність – це найбільш загальна, визначальна властивість будь-якої цілеспрямованої діяльності, яка з пізнавальної (гносеологічної) точки зору розкривається через категорію мети та об’єктивно виражається ступенем досягнення мети з урахуванням витрат ресурсів та часу”.

У техніці ефективність пов’язують із поняттям операції, під якою розуміється упорядкована сукупність взаємозалежних дій, вкладених у досягнення певної мети. “Ефективність операції – є ступінь відповідності реального (фактичного або очікуваного) результату операції необхідному (бажаному) або, іншими словами, ступінь досягнення мети операції” [265, 266].

Якість складної системи проявляється повною мірою лише у її функціонуванні, тобто використанні за призначенням. Тому, найбільш об’єктивна оцінка якості системи може бути отримана ефективністю її цільового застосування [265].

Ефективність системи не можна вивести повністю лише з властивостей системи, необхідно враховувати також властивості надсистеми. Як зазначається у роботі [266], ефективність неможливо спостерігати безпосередньо, її можна лише виміряти непрямими методами.

Терміну “ефективність” відповідають два англійські терміни: “effectiveness” та “efficiency”. Перший має на увазі здатність встановлювати

бажані цілі та здатність досягати цих цілей. Сутність другого терміну полягає у співвіднесенні отриманою вигодою із ресурсами, витраченими на отримання цієї вигоди [271].

В наш час, у низці робіт йдеться розмова про теорію ефективності (наприклад, [266-268]). При цьому, в одних джерелах зазначається, що ця теорія ще не оформилася у самостійну науку [268]. А в інших, показана думка, що ця теорія цілком сформована: “об'єктом вивчення теорії ефективності є цілеспрямовані дії – операції, а предметом – закономірності, які пов'язують ефективність операції з якістю системи ..., умовами та способами її використання в операції” [265]. Теорію ефективності називають також “інструментом дослідження операцій” [267]. На Заході розвивається аналогічний напрямок – Efficiency and Productivity Analysis (аналіз ефективності та продуктивності) [270-271].

Важливим поняттям теорії ефективності є *показник ефективності*. Ефективність, як і будь-яка властивість системи, має певну інтенсивність свого прояву. Міру інтенсивності прояву ефективності називають показником ефективності  $W$  [265]. Є й розгорнуте визначення [268]: “показник ефективності великої системи – це кількісна характеристика кінцевого результату її функціонування та розвитку протягом обумовленого періоду у порівнянні з цільовим нормативом та витратою ресурсів при заданих характеристиках стану системи та впливу зовнішнього середовища, а також при заданому векторі управління”. Такий показник ефективності пропонується називати узагальненим показником ефективності великої системи.

Автори дослідження [269] відзначають, що показники ефективності структури системи управління мають відповідати чотирьом відомим вимогам, а саме, вони повинні:

- відповідати цілям і завданням процесу управління;
- мати зрозуміле фізичне поняття;
- бути чуттєвими до змін умов обстановки, до вироблених і реалізованих системою рішень;

– бути зручними для визначення та використання.

У найбільш загальній формі узагальнений показник ефективності великої системи пропонується будувати як деяку функцію або функціонал [268]:

$$W = \Phi(Y_K, Y_H, U_K, U_H), \quad (1)$$

де  $Y_K$  – можливий або фактично досягнутий корисний ефект (кінцевий результат) функціонування та розвитку системи;  $Y_H$  – цільовий корисний ефект (необхідний кінцевий результат) функціонування та розвитку системи;  $U_K$  – можливі або фактичні витрати кількості праці (дійсного та минулого) для отримання  $Y_K$ ;  $U_H$  – мінімальні необхідні витрати кількості праці (дійсного та минулого) для отримання  $Y_H$ .

Якщо  $(Y_K, U_K)$  розглядаються як можливі величини, то йдеться розмова про прогнозування ефективності, а у разі, коли  $(Y_K, U_K)$  фактично отримані, то показник  $W$  відображатиме фактично досягнуту ефективність за деякий період функціонування системи.

Для ухвалення рішення про досягнення визначеної мети необхідний *критерій ефективності*, тобто правило, яке дозволяє зіставляти стратегії, що характеризуються різним ступенем досягнення мети, та здійснювати спрямований вибір стратегій з множини допустимих. Критерій ефективності вводиться на основі певної концепції раціонального поведінки (вироблення рішень): придатності, оптимізації та адаптивізації [266].

1. Концепції придатності. Раціональною визнається будь-яка стратегія  $i$ , для якої значення показника ефективності  $W$  не нижче деякого необхідного рівня  $W^{TP}$ :

$$W(u) \geq W^{TP}, u \in U, \quad (2)$$

де  $U$  – множина допустимих стратегій.

Якщо показник ефективності векторний, то ця умова записується для кожного приватного показника  $W_i$ , що входить до складу показника  $W$ :

$$W_i(u) \geq W_i^{TP}, \forall i. \quad (3)$$

2. Концепція оптимізації. Раціональними вважаються ті стратегії  $u \in U$ , які дають максимальний ефект:

$$W(u^*) = \max_{u \in U} W(u). \quad (4)$$

Рішенням може бути множина рівноцінних оптимальних стратегій  $U^* \subset U$ . При цьому, показник ефективності  $W(u)$  – скаляр.

3. Концепція адаптивізації. При цій концепції стратегія  $u$  може змінюватися у процесі функціонування системи. При цьому, до поняття стратегії включаються також параметри системи та її структура. Зміни проводяться на основі не тільки апріорної інформації, але також поточної та прогнозованої інформації. Множина допустимих стратегій та мета системи також можуть змінюватися. У рамках такої концепції раціональною вважається така адаптивна стратегія  $u(t)$  з множини  $U(t, \tau)$ , яка забезпечує, наприклад, виконання наступної умови:

$$U_t(u^*(t), \tau) \geq W_i^{TP}(u(t), \tau), u(t) \cup U(t, \tau), \quad (5)$$

де  $t$  – час,  $\tau$  – попередження прогнозу.

Запис  $\tau W_t$  означає, що показник ефективності може змінюватись у часі [266].

Найважливішим правилом під час виборів критерію ефективності є узгодженість мети операції з обраним критерієм.

Отже, критерій ефективності не можна побудувати без використання нормативів, а побудови показників ефективності наявність нормативів перестав бути обов'язковим [268].

З пояснень видно, що поняття “ефективність” і “мета” тісно пов'язані. Кількісне вивчення складних систем проводиться із залученням поняття мети. Використовується навіть термін цілеспрямована система. Системи діляться на прості і складні залежно від відсутності або присутності у тому поведінці акту рішення. Прості системи успішно вивчаються фізикою без використання поняття мети [269].

Складність системи було запропоновано формалізувати так [264]. Нехай існує  $Y$  елементів системи, для кожного з яких реалізується  $K$  рівноймовірних станів. У цьому випадку оцінка складності системи провадиться за формулою:

$$C = \log K^Y = Y \log K = -\log P_k, \quad (6)$$

де  $P_k = \frac{1}{K}$  – ймовірність стану елемента.

Для нерівноймовірних станів, коли ймовірності станів елементів різні ( $P_k \neq const$ ), складність визначається наступним чином:

$$C = -Y \sum_{k=1}^K P_k \log P_k = YH, \quad (7)$$

де  $H$  – інформаційна ентропія системи.

У додатку до технічних систем дослідження ефективності операції є завданням:

- оцінювання (вимірювання) ефективності операції;
- аналізу ефективності операції;
- оптимального синтезу ефективної операції.

Перші два завдання часто об'єднуються під загальною назвою *прямої* задачі, а третя називається зворотною [267].

Етапи вирішення прямої задачі (задача аналізу ефективності операцій):

- виявлення та формулювання цілей операції;
- обґрунтування показників ефективності операції;
- обґрунтування критерію оцінювання ефективності операції;
- розробка математичної моделі операції;
- обчислення показників ефективності операції;
- оцінювання ефективності операції;
- дослідження впливу експлуатаційно-технічних характеристик цілеспрямованої технічної системи ефективність операції;
- аналіз чутливості показників ефективності до експлуатаційно-технічних характеристик цілеспрямованої технічної системи та відбір значимих факторів.

Етапи вирішення зворотної задачі (задача синтезу ефективної операції), як інженерно-технічної, так і організаційної:

- виявлення та формулювання цілей операції. Відбір значних керованих чинників;
- обґрунтування показників ефективності операції та критерію її

оцінювання;

- побудова математичної моделі операції;
- випробування моделі операції та визначення її оптимальних характеристик; обґрунтування вимог до структури цілеспрямованої технічної системи (структурний синтез);
- обґрунтування вимог до експлуатаційно-технічних характеристик цілеспрямованої технічної системи (параметричний синтез);
- обґрунтування вимог щодо організації процесу функціонування системи (алгоритмічний синтез).

Наведений порядок дослідження ефективності може бути застосований не лише до складних технічних систем, а й до систем в інших предметних галузях.

Підходи до дослідження ефективності у різних сферах відрізняються великою різноманітністю. Однак існують і загальніші підходи, що застосовуються для оцінки ефективності широких класів складних об'єктів.

### **3.4.2 Показники ефективності алгоритмів**

Основні поняття і визначення, які пов'язані із зображенням алгоритмів у вигляді графів і їх паралельних форм, а також взаємозв'язок між паралельними алгоритмами та архітектурою паралельних обчислювальних структур (ПОС) для їх реалізації, надані у роботі [269]. Для коректного порівняння алгоритмів, що розробляються, з відомими необхідно визначити основні показники їх ефективності, що дозволить провести порівняльний аналіз.

Найбільш широко вживаним показником ефективності роботи алгоритму є відрізок часу, що витрачається алгоритмом для вирішення поставленого завдання. Проте, такий підхід не однозначно визначає ефективність алгоритмів, оскільки цей показник залежить від типу електронно-обчислювальної машини (ЕОМ), на якій виконується алгоритм, від вибору мов програмування тощо.

При аналізі алгоритмів час їх роботи має термін числа елементарних кроків (арифметичних операцій, порівнянь тощо), необхідних для виконання цього



алгоритму на гіпотетичній ЕОМ. Іншими словами, виконання будь-якої операції вимагає одну одиницю часу.

Проте, число кроків, що виконуються алгоритмом, не однакове для різного розміру входу початкових даних. Для усунення такої неоднозначності у поведінці алгоритму при переході від одного входу до іншого можливо розглянути усі входи даного розміру  $n$  разом та визначити складність алгоритму для входу як число кроків алгоритму, у гіршому випадку за усіма цими входами.

У комбінаторних задачах оптимізації входом є комбінаційний об'єкт: граф, множина цілих чисел, сімейство кінцевих множин тощо. Щоб увести цей вхід у обчислювальній системі для вирішення, необхідно яким-небудь чином закодувати або зобразити у вигляді послідовності символів над деяким фіксованим алфавітом таким, як двійковий алфавіт. Кодування комбінаторних об'єктів можна провести будь-яким з багатьох відомих способів [269]. Оскільки вхід алгоритму зображується у вигляді послідовності або ланцюжка символів над деяким фіксованим алфавітом. Можливо не деталізувати способи кодування комбінаторних об'єктів. Визначимо розмір входу алгоритму як довжину цієї послідовності, тобто число символів у неї. При аналізі алгоритмів звичайно цікавить швидкість зростання складності алгоритму, яку описують за допомогою наступних формалізмів.

Визначення. Нехай  $f(n)$  і  $g(n)$  – функції, які визначені на множині цілих позитивних чисел та приймають позитивні дійсні значення.

1. Позначимо:

$$f(n) = O(g(n)), \quad (8)$$

якщо існує така константа  $c > 0$ , що  $f(n) \leq c \times g(n)$  для достатньо великих  $n$ .

2. Позначимо:

$$f(n) = \Omega(g(n)), \quad (9)$$

якщо існує така константа  $c > 0$ , що  $f(n) \geq c \times g(n)$  для достатньо великих  $n$ .

3. Позначимо:

$$f(n) = \Theta(g(n)), \quad (10)$$

якщо існує такі константи  $c > 0$   $c' > 0$ , що  $c \times g(n) \leq f(n) \leq c' \times g(n)$  для достатньо

великих  $n$ .

Замість (10) можна записати:

$$f(n) \stackrel{\cup}{\cap} g(n). \quad (11)$$

Відношення (11) є відношенням еквівалентності. Клас еквівалентності цього відношення, що містить  $f(n)$  тобто множину усіх функцій  $g(n)$ , таких, що  $f(n) = W(g(n))$ , називають швидкістю росту  $f(n)$  [275].

Завдяки введеному поняттю, швидкість зростання складності алгоритму, як показано [275], можна оцінити зверху, використовуючи вираз типу “вимагає часу  $O(n^3)$ ”.

Таким чином, часова складність алгоритму відображає потрібні для нього витрати часу. Функція, яка вхідній довжині  $n$  ставить у відповідність максимальний (за усіма індивідуальними завданнями довжини  $n$ ) час, не буде повністю визначена до тих пір, доки не зафіксована схема кодування та не вибрано обчислювальний пристрій, що визначає час роботи.

Один і той же алгоритм  $A$  можна виконувати за різний час на різних структурах. Тому, при переході від однієї структури до іншої часто користуються поняттям складності, місткості обчислювальної системи, що характеризує зростання апаратних витрат при такому переході.

Апаратні витрати можуть задаватися у числі елементарних процесорних елементів, числі зв'язків у системі, обсязі пам'яті тощо. При цьому, використовується вираз “потрібно  $O(n^3)$  елементів пам'яті”.

При аналізі складності алгоритмів оцінка у як найгіршому випадку не завжди об'єктивно несе інформацію про час, який витрачається алгоритмом, на рішення задачі, оскільки гірші випадки при рішенні конкретної задачі можуть бути рідкісними.

Тому, у роботі для кожного алгоритму теоретично визначена складність у як найгіршому випадку, а при експериментальному моделюванні роботи алгоритмів проводяться оцінки їх складності у середньому, що дозволяє об'єктивніше оцінити можливості алгоритму.

Таким чином, для проведення експериментального дослідження алгоритмів рішення задачі цілочисельного лінійного програмування (ЦЛП) з булевими змінними (БЗ) (розділ 3) та їх порівняння з відомими, будуть вибрані наступні показники:

1.  $N_{оп}$  – число елементарних операцій (ЕО) складання та порівняння, що виконуються алгоритмами.
2. Об'єм пам'яті ( $V$ ) для реалізації конкретного алгоритму.
3. Для оцінки якості наближених алгоритмів вибрана абсолютна  $\delta f$  і відносна  $\Delta f$  погрішності:

$$\delta f = |f(\bar{x}) - f(\bar{x}^{opt})|, \quad (12)$$

$$\Delta f = \frac{|f(\bar{x}) - f(\bar{x}^{opt})|}{f(\bar{x}^{opt})}, \quad (13)$$

де  $f(\bar{x})$  – цільова функція, яка визначена на деякій множині  $M$ ;  $\bar{x}$  – допустиме рішення задачі, що є наближеним;  $\bar{x}^{opt}$  – оптимальне рішення задачі.

Для об'єктивного порівняння розроблених алгоритмів з відомими, а також, з урахуванням їх специфіки, додатково будемо використовувати наступні показники якості:

- $\bar{r}$  – середній ранг шляхів, відповідних оптимальному рішенню тестової задачі, який визначається числом одиниць у векторі  $\vec{x}$ ;
- $K_n$  – кількість неточних рішень від загального числа тестових задач, що вирішуються наближеними алгоритмами, виражені у %;
- коефіцієнт виграшу  $K_e$  у швидкодії розроблених алгоритмів щодо алгоритму, з яким здійснюється порівняння, дорівнює:

$$K_e = \frac{\overline{N_{on}}}{N_{on}^p}, \quad (14)$$

де  $\overline{N_{on}}$  – число  $N_{on}$  відомим еталонним алгоритмом;  $N_{on}^p$  – число  $N_{on}$  розробленого алгоритму.

Такі показники, як зайнятий обсяг пам'яті  $V$ ,  $\delta f$ ,  $\Delta f$ ,  $\bar{r}$ ,  $K_n$  та  $K_e$  утворюють групу  $\{\Phi_k\}$ -показників, не залежних від часу виконання алгоритму. А тимчасові

показники: число  $N_{on}$  і  $K_e$  – утворюють групу  $\{\Theta_m\}$ -показників.

Використання показників функціональної групи дозволяє оцінити ефективність застосування правил відсікання  $\{L_w, K_i\}$  неперспективних варіантів в узагальненій процедурі  $A_0$ , а група тимчасових показників дозволяє порівняти розроблені алгоритми з відомими..

### 3.4.3 Експериментальне дослідження алгоритмів

З метою перевірки правильності функціонування алгоритмів, заснованих на принципі оптимізації по напрямку та правил розроблена програмна модель реалізації наближених алгоритмів.

Подання бінарного дерева рішень у вигляді графа  $D\Delta$  обумовило необхідність збереження шляхів усього лише двох рангів: поточного  $r$ , на основі якого будуються шляхи наступного рангу та наступного  $r=r+1$ , що утворюється в результаті такої побудови.

На початковому етапі проводиться встановлення початкових значень змінних, які необхідні для організації збереження векторів у пам'яті ЕОМ, а також розмірність вхідних параметрів для алгоритму  $(m, n)$ . Після цього, задаються коефіцієнти  $\{c_j\}$ ,  $\{a_{ij}\}$ ,  $\{b_{ij}\}$  у функціоналі й обмеженнях.

Наступні кроки алгоритму підпорядковані побудові шляхів першого рангу. По завершенню побудови шляхів першого рангу в утворених множинах виділяється шлях із максимальною довжиною по вагах функціоналу, значення якого присвоюється глобальному екстремуму.

Далі проводиться відсікання по обраному правилу  $\{L_w\}$  безперспективних векторів поточного рангу  $r$ . На основі шляхів, що залишилися, з урахуванням принципу оптимізації по напрямку, поняття коридору формуються шляхи наступного  $(r+1)$ -го рангу, що задовольняють властивості  $v$ .

Кількість сформованих векторів з однієї множини в іншу позначено як  $z$ . Значення числа  $z$  залежить від обраного правила  $\{L_w\}$ .

При цьому, якщо утвориться шлях із великим значенням по вагам

функціоналу, ніж розмір глобального екстремуму, то останній обновляється.

Побудова шляху такого рангу потребує виконання наступних операцій:

- збільшити розмір функціонала на вагу ребра, що з'єднує вершину  $j$  поточного рангу  $r$  та вершину  $p$  рангу  $r=r+1$ ;
- збільшити довжину шляху  $msj$  вершині  $j$  по вагах обмежень  $da(msj)$  на вагу  $alp$  ребра, що з'єднує вершину  $j$  і вершину  $p$ ;
- здійснити перевірку виконання властивості  $v$ ;
- при задоволенні властивості  $v$  зробити коригування ідентифікатора шляху  $msj$  із додаванням до нього номера  $p$ . Під ідентифікатором шляху розуміється список номерів вершин графа  $D\Delta$ , через які проходить цей шлях.

У пам'яті ЕОМ зберігаються шляхи двох рангів: поточного  $r$  і наступного ( $r+1$ ), причому, коли побудова других завершена, шляхи поточного рангу можна видалити з пам'яті.

У випадках, якщо узагальнена процедура побудувала шлях рангу  $r=n$  або усі множини такого рангу порожні ( $s=0$ ), то алгоритм закінчує роботу і виводить на друк ідентифікатор оптимального шляху та значення цільової функції для вектора, що відповідає цьому шляху.

Метою експериментальних досліджень розроблених наближених алгоритмів було виявити наступне:

- чи потребує алгоритм менше обчислень значень цільової функції у порівнянні з іншими?;
- чи потребує даний алгоритм менше машинного часу?;
- чи потребує алгоритм менше машинної пам'яті для своєї реалізації?;
- як сходиться і яку подає інформацію про обчислювальний процес?;
- на скільки алгоритм стійкий до помилок обчислень?;
- яку забезпечує точність рішень?;
- як залежить отримана точність рішення задачі за даним алгоритмом від машинного часу, що відпускається на його роботу?;
- як залежить ефективність наближених алгоритмів від засобу

сортування коефіцієнтів при функціоналі та обмеженні?

Зрозуміло, що з'ясування перерахованих питань необхідно і при аналізі результатів машинного експерименту, отриманих на тестових задачах. Вибір тестових задач проводився таким чином, щоб вони задовольняли наступним вимогам:

- у наборі задач необхідно передбачити значну кількість різноманітних тестових задач, у яких не повторюються ті самі закономірності;
- у тестових задачах повинні бути усі труднощі, що можуть зустрітися при використанні алгоритму у принципі;
- задачі повинні включати достатньо багато простих проблем, щоб можна було реалістично порівняти алгоритми у звичайних ситуаціях;
- тестові задачі повинні відбивати типові риси та особливості класу розв'язуваних задач.

Приступимо до розгляду експериментального дослідження наближених алгоритмів. У ході рішення тестових задач генерувались по рівномірному закону розподілу за допомогою датчика випадкових чисел коефіцієнти у функціоналі в діапазоні  $[1 \div 100]$  та в обмеженнях у діапазоні  $[1 \div 50]$ .

Вибір інших діапазонів для функціоналу змінив лише його абсолютне значення, але у середньому не вплинув на параметри алгоритмів. Зміна діапазону у обмеженнях впливає лише на ранг шляху (ранг шляху – кількість вершин графа  $D\Delta$ , що утворюють цей шлях).

Структура дослідження кожного алгоритму полягала у наступному. Вирішувалося 100 тестових задач із заданими вхідними параметрами  $n$  обраним алгоритмом із різноманітним сортуванням коефіцієнтів при функціоналі та обмеженні. У ході рішення обчислювалися показники ефективності алгоритмів.

Результати рішення задачі наближеним алгоритмом дорівнювалися з результатом її рішення точним алгоритмом, описаним у [264-265]. Отримані значення подані на графіках (рисунках 1, 2).

Як показали результати експериментального дослідження, кількісні значення обраних показників істотно залежать від рангу одержуваного рішення,

що визначає число одиниць у оптимальному рішенні.

Так, діапазон зміни  $r_{cp}$  можна умовно розбити на три умовно виділені зони:

1 зона –  $r_{cp}=[0 \div n/3]$ ; 2 зона –  $r_{cp}=[n/3 \div 2n/3]$ ; 3 зона –  $r_{cp}=[2n/3 \div n]$  (рис. 3).

У першій зоні алгоритм знаходить рішення швидко, оскільки за рахунок зондування дуже ефективно відсікаються гілки дерева рішень, що відповідають одиничним розгалуженням.

Аналогічним чином пояснюється і швидке одержання рішення у 3 зоні, вектори у якій складаються із великого числа одиниць.

Прояв усієї експоненціальної складності алгоритму відбувається саме у другій зоні.

Для наближених алгоритмів зростання кількості ЕО зі збільшенням  $r_{cp}$  визначається числом локальних областей  $W$ , що необхідно опрацювати.

Таким чином, для об'єктивного порівняння алгоритмів необхідно вказувати, до якої зони вони належать, тобто який відсоток одиниць (або нулів) містить оптимальне рішення. Відповідно до розподілу на зони побудовані таблиці залежності точності наближених рішень для другої зони від способу сортування коефіцієнтів.

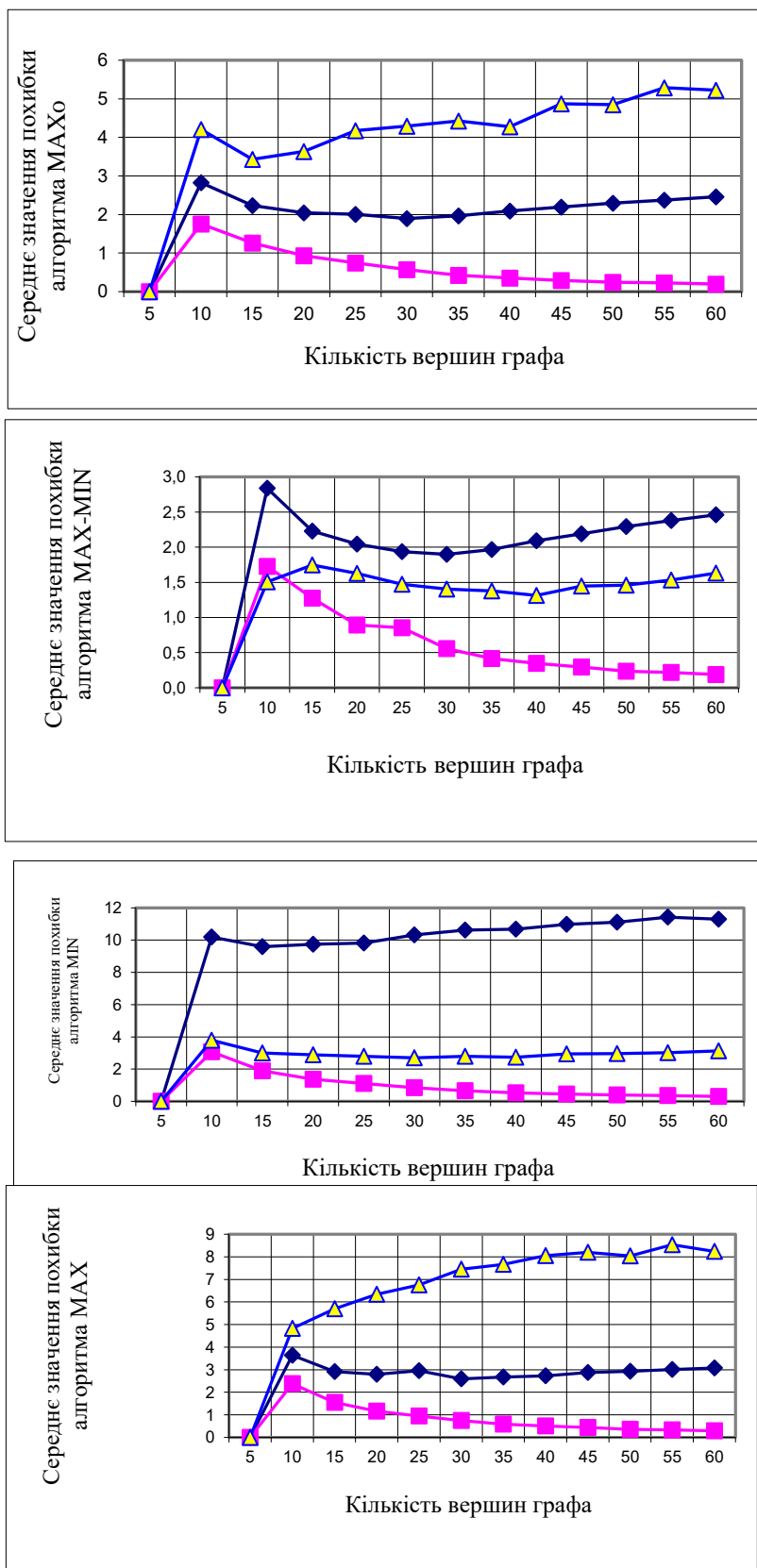


Рисунок 1 – Оцінка ефективності алгоритмів



# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

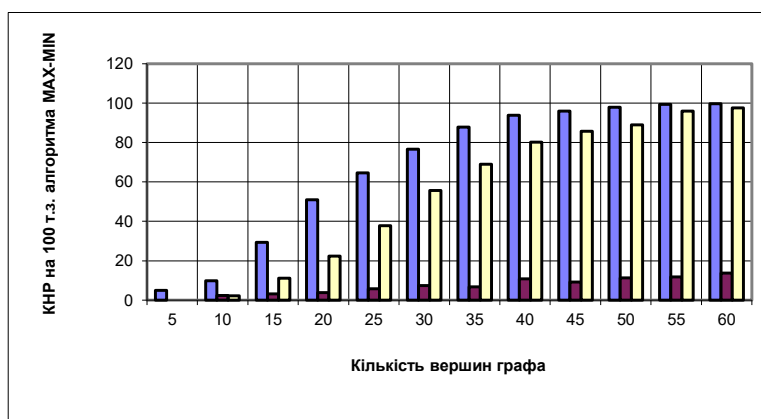
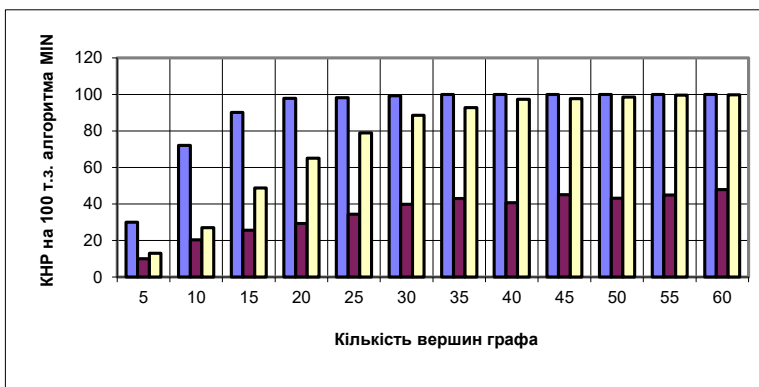
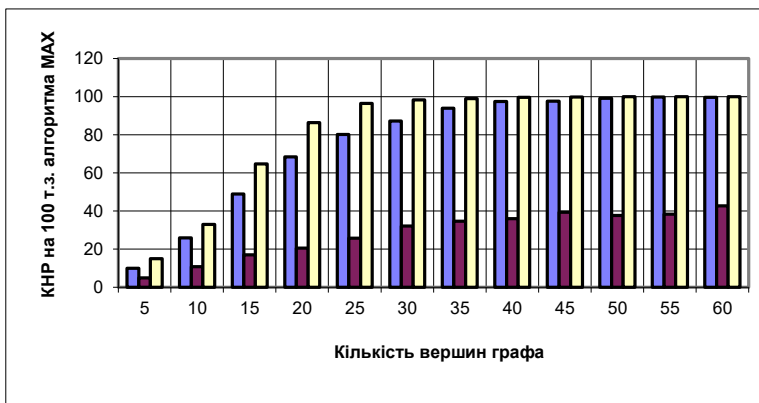
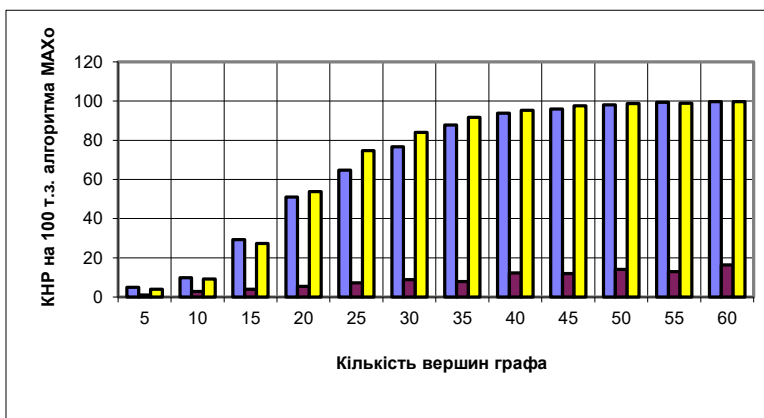


Рисунок 2 – Оцінка ефективності алгоритмів

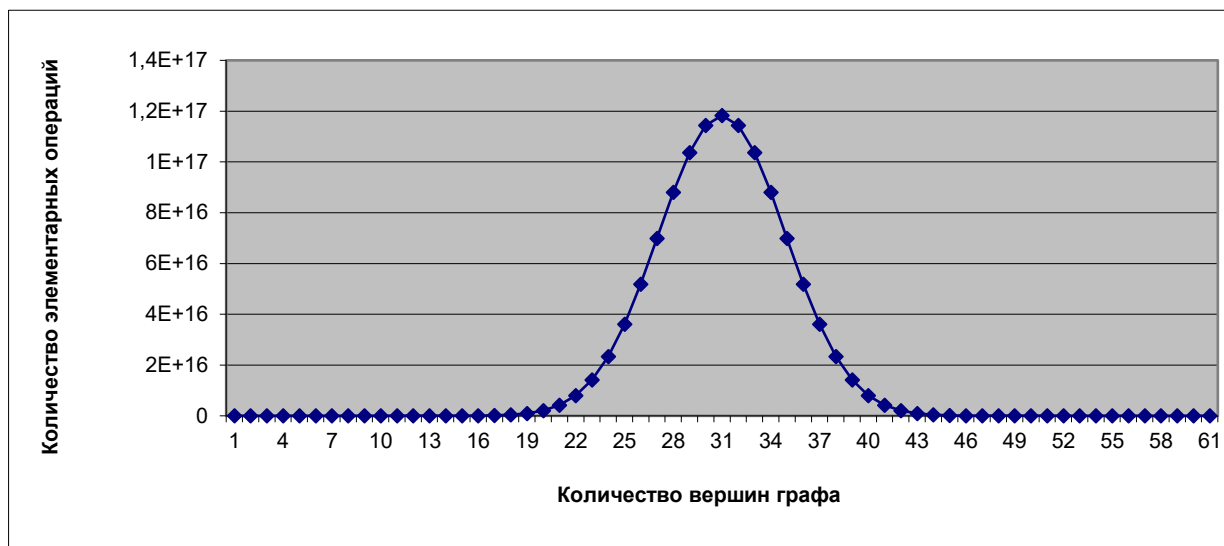


Рисунок 3 – Кількість елементарних операцій точного алгоритму

З аналізу отриманих графіків та таблиць можна зробити висновок, що найкращою точністю володіє алгоритм MAX-MIN, похибка якого при  $n > 50$  не перевищує 0,5%. Найбільше ефективним сортуванням є сортування у порядку зменшення відношень коефіцієнтів при функціоналі до відповідних коефіцієнтів у обмеженнях [277-280].

#### 3.4.4 Результати імітаційного моделювання задачі оптимізації

На даний час методів перевірки, що гарантують повну адекватність отриманої моделі реальному процесу, немає. Існують лише методи, які дозволяють виявити неадекватність моделей у тім чи іншому ступені.

Оцінити точність моделі – це значить знайти розбіжність результатів, отриманих після реалізації цієї моделі з дійсними результатами. Зовсім ясно, що якість виконання кожного з етапів моделювання впливає на підсумкову точність моделі.

Як показано у відомій літературі, для перевірки адекватності моделі можуть використовуватися наступні методи:

- порівняння результатів моделювання на розробленій моделі з реальними результатами (тестування моделі на реальних даних);

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

- порівняння отриманих на розробленій моделі результатів з даними, отриманих на апробованих моделях;
- перевірка моделі на наборах параметрів, для яких результат моделюемого процесу відомий заздалегідь;
- перевірка вірогідності вихідної даних, розмірності та масштабування параметрів у рівняннях моделі;
- перевірка коректності моделі при виродженні умов моделювання;
- метод зворотного переходу.

Основними вимогами, що визначають придатність моделі до практичного застосування, є вимоги ймовірності, оперативності та контрольованості результатів.

Вимога оперативності моделювання встановлюється виходячи з розташовуваного штабом часу на збір, підготовку, введення інформації у ЕОМ, рішення задачі та аналіз результатів.

На практиці увесь цикл моделювання на етапах безпосередньої підготовки та ведення операції не повинний перевищувати 30 хв., а з обліком убудованих у модель баз даних – 1-3 хв. При підборі параметрів рішення та моделюванні декількох варіантів можливе збільшення циклу моделювання на 50-70%.

Так величина часу  $T_p$  і часу  $T$  розрахунків на практиці залежать від безлічі непередбачених умов та реально є випадковими. Оцінимо показник оперативності кожної моделі розподілу як ймовірність своєчасного одержання результатів моделювання:

$$P = 1 - e^{-\frac{T_p}{T}}. \quad (15)$$

Використовуючи середнє значення часу циклу моделювання та  $T_p$  часу (3 хв.), знайдемо значення показника  $P$  оперативності (табл. 1).

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

Таблиця 1. – Оцінка показника оперативності

Характеристики	АЛГОРИТМИ								
	Точні		Наближені						
	1	2	1	2	3	4	5	6	7
КВГ	30	30	30	30	30	30	30	30	30
СЧР (с.)	23.86	5.13	0.0	0.25	0.11	0.27	0.56	*	5.13
ПО	0.999	1	1	1	1	1	1	1	1
КВГ	50	50	50	50	50	50	50	50	50
СЧР (с.)	2100.4	7.56	0.05	1.12	0.75	1.05	2.01	*	7.26
ПО	0.082	1	1	1	1	1	1	1	1
КВГ	100	100	100	100	100	100	100	100	100
СЧР (с.)	-	9.39	0.14	3.21	2.46	3.17	7.35	*	9.3
ПО	-	0.999	1	1	1	1	1	1	1
КВГ	150	150	150	150	150	150	150	150	150
СЧР (с.)	-	61.94	0.31	14.17	9.76	13.30	47.9	*	44.90
ПО	-	0.945	1	0.99	0.999	0.999	0.976	1	0.98
КВГ	200	200	200	200	200	200	200	200	200
СЧР (с.)	-	310.81	0.73	46.04	32.40	45.53	89.3	*	45.2
ПО	-	0.439	1	0.97	0.996	0.98	0.866	1	0.98
КВГ	250	250	250	250	250	250	250	250	250
СЧР (с.)	-	1560.8	1.54	115.68	91.68	111.8	228.1	*	1.5
ПО	-	0.109	1	0.78	0.859	0.8	0.545	1	1
КВГ	300	300	300	300	300	300	300	300	300
СЧР (с.)	-	2700.3	2.1	171.15	158.3	165.7	310.5	*	2.4
ПО	-	0.064	1	0.650	0.679	0.662	0.439	1	1
КВГ	400	400	400	400	400	400	400	400	400
СЧР (с.)	-	-	2.27	222.9	193.1	211.9	532.9	*	2.5
ПО	-	-	1	0.554	0.606	0.572	0.286	1	1

Алгоритми для дослідження були обрані:

- точні алгоритми:

1 – алгоритм Балаша;

2 – багатоступінний алгоритм на основі рангового підходу;

- наближені алгоритми:

1 – алгоритми з часовою складністю  $O(n)$ ;

2 – алгоритми з часовою складністю  $O(n^2)$  при сортуванні по обмеженню;

3 – алгоритми з часовою складністю  $O(n^2)$  при сортуванні по функціоналу;

4 – алгоритми з часовою складністю  $O(n^2)$  при сортуванні по відношенню;

5 – алгоритми з часовою складністю  $O(n^3)$ ;

6 – рівнобіжні алгоритми;

7 – алгоритм, який забезпечує максимальну точність обчислень при припустимих часових і ресурсних витратах.

Результати розрахунків, що представлені у таблиці 1 та рисунку 3, показують що при рівні оперативності  $P \geq 0,9$  в даний час забезпечення розрахунками етапу оптимального планування можливо тільки алгоритмами з тимчасовою складністю  $O(n)$  та алгоритм, що забезпечує задану точність обчислень при припустимих часових і ресурсних витратах. Застосування точних алгоритмів можливо при невеликій розмірності задачі розподілу – до 250 вершин графу, алгоритмів з часовою складністю  $O(n^2)$  до 400.

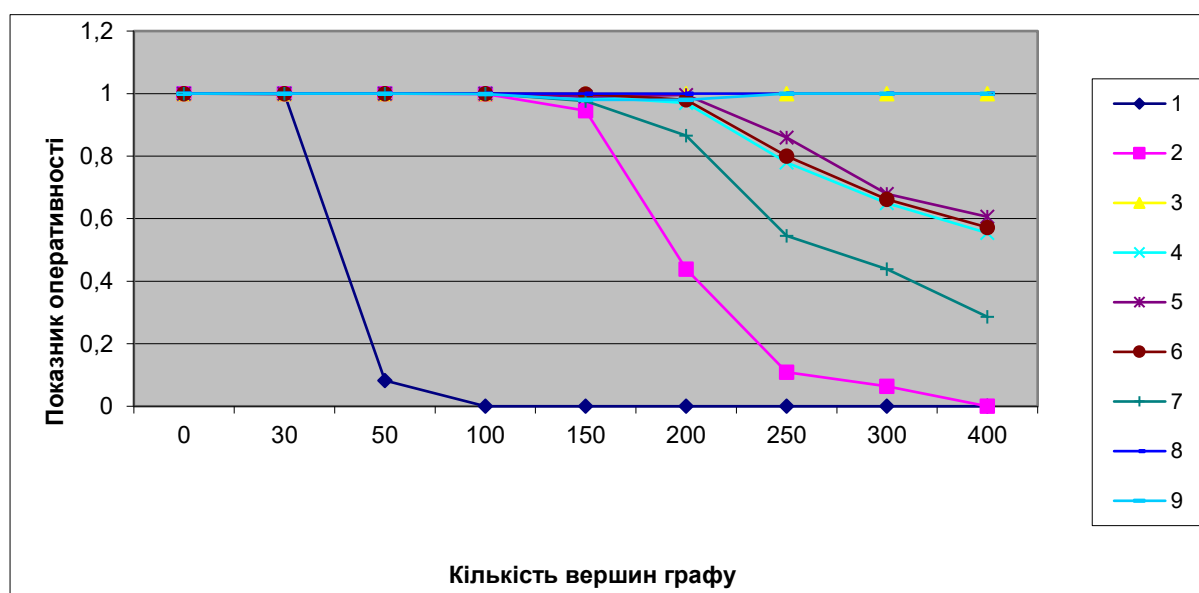


Рисунок 4 – Залежність показника оперативності від розмірності задачі

#### Висновки:

1. Порівняльний аналіз розроблених алгоритмів з відомими за вибраними показниками ефективності показав, що їх часова складність істотним чином залежить від рангу оптимального рішення, який може належати одній з трьох умовно виділених зон. Тому, об'єктивне порівняння алгоритмів можливо лише

для рішень, що належать одній і тій же зоні.

2. З порівняння рішень за зонами видно, що найбільший виграш розроблені алгоритми дають у другій зоні, де число припустимих рішень експоненціально. Це є важливою перевагою у порівнянні з відомими.

3. Дослідження погрішності наближених алгоритмів показало, що із збільшенням розмірності вирішуваної тестової задачі, вона стабілізується і для різних стратегій відсікання лежить у межах від 1 до 10%.

4. Властивість стабілізації погрішності дозволила побудувати ефективні точні багато етапні алгоритми рішення ЦЛП з БЗ. Якщо точність попереднього етапу лежить у інтервалі до 2%, то часова складність таких алгоритмів у середньому з довірчою вірогідністю 0,95 не перевищує  $O(c^m)$ , де  $c = \text{const}$  при  $n < 100$ .

### **3.5 Застосування інформаційної технології детектування аномалій у відеоряді для підвищення безпеки транспортних засобів**

Відеоспостереження (англ. Video surveillance) – це процес спостереження за різноманітними об'єктами, що реалізується із застосуванням відеокамер – оптико-електронних та мікропроцесорних пристроїв, призначених для візуального контролю навколишнього середовища, з метою безпеки життя, діяльності та майна сучасної людини.

Такими процесами та об'єктами можуть бути, наприклад, автомобілі, що рухаються по перехрестю, по вулиці або по замиській трасі, дорожнє покриття під час контролю його стану та якості, безпека будь-якого інфраструктурного об'єкту чи транспортного засобу.

Аномалія відеоряду камер спостереження за перебігом транспортних процесів – це будь-яке відхилення від звичайного стану, наприклад, проїжджої частини вулиць, перехресть, замиських магістралей. Наприклад, це поява нерухомого транспортного засобу там, де зазвичай рухаються автомобілі чи поява людини на проїжджій частині вулиці поза зони пішохідного переходу.

Пошук аномалій у відеорядах – це надсучасний науковий напрям, що стосується багатьох галузей науки та техніки. Він потребує використання надсучасних обчислювальних технологій, у тому числі нейронних мереж. Власне, завдяки цим технологіям та розвитку обчислювальної техніки пошук аномалій у відеорядах взагалі став можливий.

Щодо аномалій відеоряду камер спостереження у автотранспортних системах, то вони належать до корисної інформації, тобто стають свідченням якихось порушень у нормальному перебігу спостережуваних процесів. Наприклад, зіткнення автомобілів на перехресті чи попадання людини на проїжджу частину вулиці це аномалія з точки зору організації та безпеки руху транспортних засобів. В цьому випадку реєстрація та детектування аномалій є основним завданням системи відеоспостереження з метою безпеки дорожнього

руху. Використання для обробки таких відеоданих сучасних обчислювальних методів робить можливим створення інтелектуальних систем для прийняття відповідних безпекових рішень в транспортних системах.

Крім того, системи відеоспостереження зараз дуже активно використовуються при створенні так названих безпілотних чи роботизованих транспортних засобів. Без таких систем створення та експлуатація останніх практично неможлива.

Аномалії у відеоряді камер відеоспостереження можуть бути також обумовлені, наприклад, несправностями апаратури або перешкодами в тракці передавання сигналу від відеокамер до реєструючої та аналітичної апаратури. Звісно, що такі аномалії не є корисними та інформативними. Їх треба виявляти, а причини їх появи потрібно усувати.

Таке використання систем відеоспостереження в автотранспортних системах обумовлює актуальність даного дослідження.

Останнім часом у світовому інформаційному просторі з'явилося багато різноманітних методів детектування аномалій в часових рядах взагалі, та у відеорядах камер відеоспостереження зокрема. З'явилося багато статей, присвячених дослідженням у цьому напрямі. Ці статті в більшості дуже неконкретні, багато оглядових. Отримати з них дійсно корисну практичну інформацію дуже важко, тому що розробники програмного забезпечення до інтелектуальних IP відеокамер ретельно охороняють свої розробки.

З іншого боку, деякі фірми, що розробляють програмне забезпечення універсального характеру, наприклад Microsoft, оприлюднюють обчислювальні схеми для обробки відеоданих, набори тестових програм, програми для машинного навчання та інше. Загалом, це величезні обсяги обчислювальної та відео інформації. Дослідникам і розробникам сучасних систем відеоспостереження важко орієнтуватися в цьому різноманітті методів для виявлення аномалій.

Нами була переглянута велика кількість статей, досліджень, монографій та публікацій в Інтернеті, що в кілька разів перевищує список літератури до даної



роботи. Ті роботи, в яких ми не зустріли, на наш погляд, раціональних, корисних теоретичних та практичних розробок чи там були повтори деяких відомостей, не увійшли до списку використаних джерел. Допомогла в проведенні нашого дослідження стаття [281] українських дослідників методів пошуку аномалій у відеорядах, в якій зроблена спроба зробити аналіз таких методів.

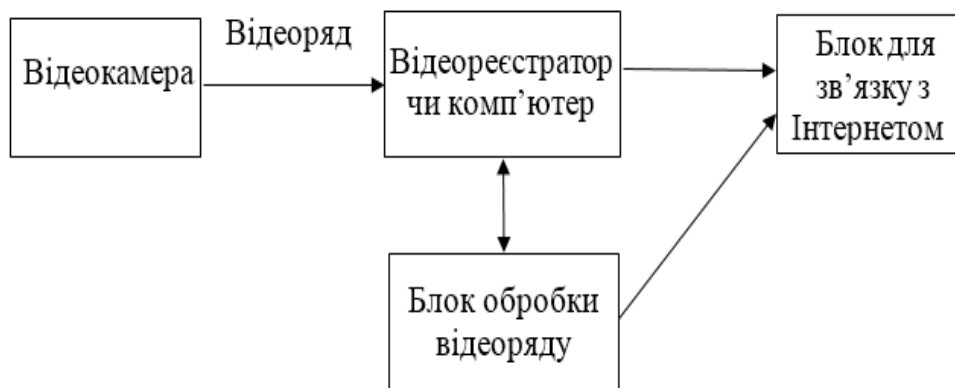
В свою чергу, ми теж намагалися [282] розкрити сутність наведених методів пошуку аномалій, провести їх класифікацію та оглянути технічні рішення для реалізації відеоспостереження з подальшим автоматичним інтелектуальним аналізом для пошуку аномалій в транспортних системах з метою підвищення безпеки транспортних засобів, пішоходів, водіїв та пасажирів.

Великий обсяг відеоданих, які продукуються останнім часом, потребує автоматизованої обробки із залученням потужних комп'ютерів, спеціалізованого програмного забезпечення та новітніх інтелектуальних інформаційних технологій. Зараз роль людини в аналізі відеоряду, з точки зору пошуку аномалій, практично зведена до мінімуму. Це пояснюється і великим обсягом відеоданих, що потребують аналізу, і низькими можливостями людини порівняно з обчислювальною технікою (швидкість роботи, особливості зору та інше).

В рамках поставленої задачі дослідження нас цікавили технології, системи і методи, що були запропоновані та розроблені в світі для отримання, обробки та аналізу відеорядів та зображень, включаючи задачі машинного зору, класифікація зображень, детектування об'єктів та аномалій, тощо.

В [281] вказано, що всі системи відеоспостереження, незалежно від виду, включають такі технічні компоненти: блок живлення, кабель, жорсткий диск для запису і зберігання відеосигналу з камер, монітор, відеореєстратор або комп'ютер для локального перегляду та зберігання відеозапису, Інтернет для використання відеореєстратора з хмарним сервісом при перегляді відеозапису в онлайн режимі.

Вважаємо, що систему відеоспостереження та систему детектування аномалій в відеоряді на її основі можна представити у вигляді наступної функціональної блок-схеми (мал. 1).



Малюнок 1. Функціональна блок-схема системи  
детектування аномалій у відеоряді

Система детектування аномалій в відеоряді чи система відеоспостереження функціонує наступним чином. Відеоряд, тобто корисний сигнал від відеокамери, який є результатом відеоспостереження, потрапляє до відеореєстратора чи комп'ютера для реєстрації, подальшої обробки та зберігання.

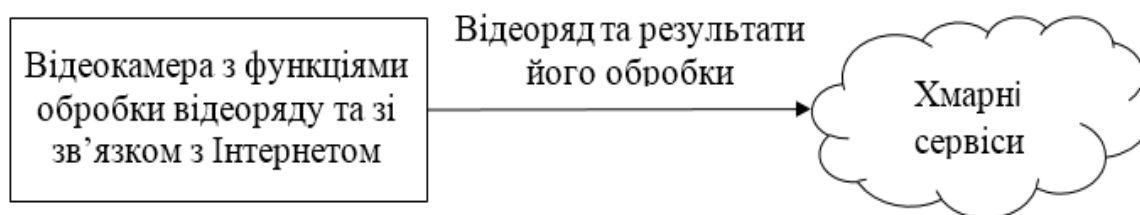
У випадку використання відеореєстратора обробка відеоряду здійснюється у блоці обробки відеоряду. Цей процес обробки відеоряду з метою виявлення загроз чи аномалій у сукупності з відповідним програмним забезпеченням називається відеоаналітикою і може реалізовуватися як окремими пристроями, так і програмним забезпеченням комп'ютера чи відеореєстратора. Результати роботи відеоаналітики чи сам відеоряд можуть бути передані до мережі Інтернет за допомогою блоку для зв'язку з Інтернетом.

Треба відмітити, що важко відокремити системи детектування аномалій в відеоряді від самої системи відеоспостереження, тому далі будемо вести мову про системи відеоспостереження в цілому. Тим більше, що технічний рівень

людства в цілому і, зокрема, радіоелектроніки та обчислювальної техніки дозволяє об'єднати різні функціональні блоки системи, що зображена на рис.1, без істотного збільшення габаритів.

Зараз на ринку пристроїв для відеоспостереження з'явилися автономні керовані роботизовані поворотні Internet Protocol (IP) камери відеоспостереження, які мають можливість дистанційно чи автоматично повертати об'єктиви по горизонталі і вертикалі для збільшення обсягу контрольованого простору [283]. Такі камери мають функцією відеоаналітики для первинної обробки відеоряду та зв'язок з Інтернетом для подальшого його аналізу у разі потреби.

Для роботизованої IP відеокамери з відеоаналітикою функціональна блок-схема системи детектування аномалій у відеоряді має наступний вигляд (мал. 2):



Малюнок 2. Схема системи з об'єднаними блоками для виявлення аномалій в відеоряді

Бачимо, що така відеокамера об'єднує функції декількох блоків системи, яка зображена на мал. 1. Такий пристрій для відеоспостереження самостійно може зберігати певний обсяг відеоінформації, може передавати її для зберігання по хмарним технологіям. Ця відеокамера також може обробляти отриману відеоінформацію по певним алгоритмам самостійно (в рамках своїх можливостей), а може передавати її для хмарних обчислень, якщо потрібні більш потужні обчислювальні ресурси.

Вищезазначені найсучасніші системи детектування аномалій в відеоряді – це все ж таки справа майбутнього. Тому задача класифікації дещо простішої

традиційної техніки, яка зараз переважним чином використовується у системах детектування аномалій в відеоряді у нинішній час, продовжує бути актуальною.

Прийнято виділяти кілька типів класичних систем відеоспостереження [281] в залежності від використовуваного технічного оснащення [284, 285].

1) Аналогові системи. Склад комплектуючих: AHD/HD-CVI/HD-TVI камера відеоспостереження, цифровий відеореєстратор (Digital Video Recorder (DVR)).

2) Цифрові системи. В їх основу покладено IP-технології. Аббревіатура IP означає збірку правил, за якими потрібно використовувати технологію Internet для обміну інформацією між комп'ютерними мережами. Мається на увазі використання IP відеокамер спільно з мережевими комутаторами. Склад комплектуючих наступний: IP камера відеоспостереження, мережевий відеореєстратор (Network Video Recorder (NVR)) та мережевий комутатор для підключення відеокамер і відеореєстраторів до мережі Інтернет.

3) Змішані (гібридні) системи. Принцип їх роботи засновано на прийомі відеозображення з аналогових камер та на оцифруванні зображення для подальшого використання.

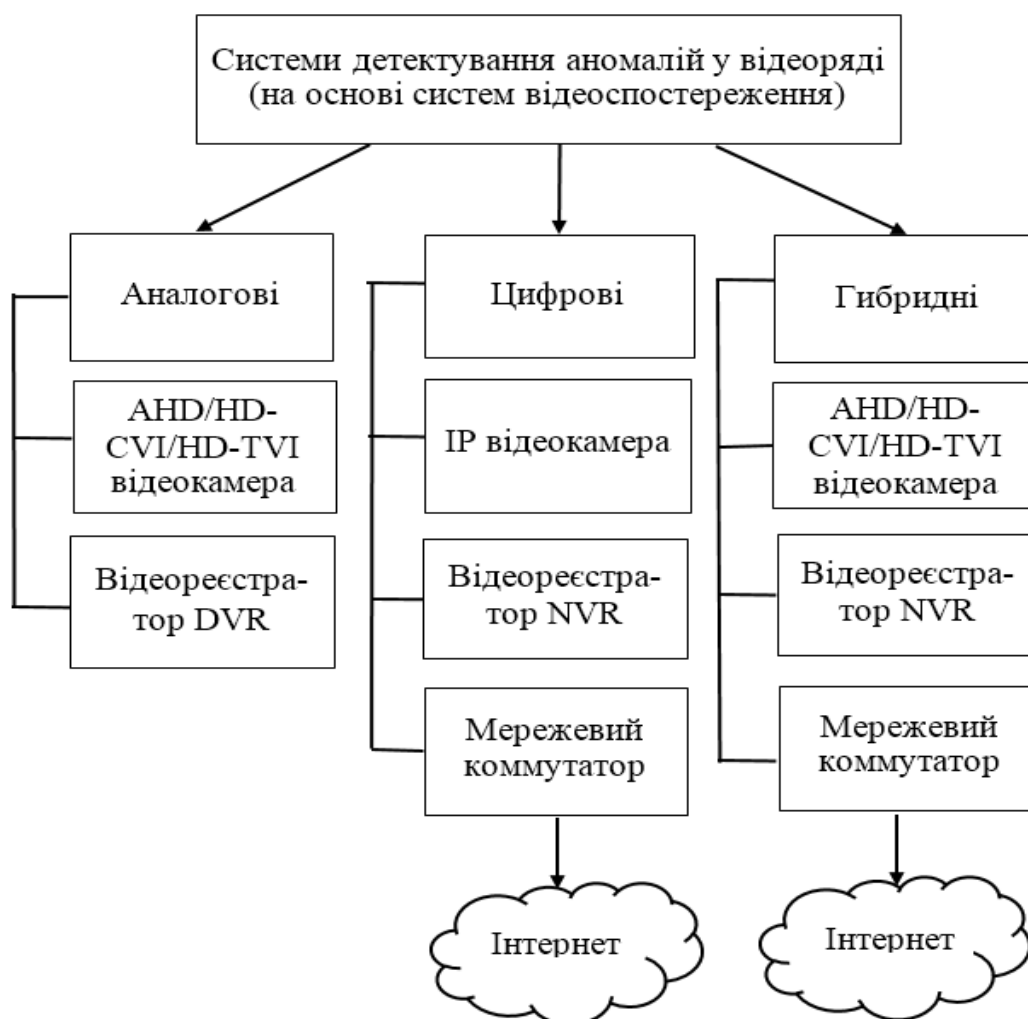
Цифрові системи сьогодні є більш перспективними в порівнянні з аналоговими системами: покращена якість відеозображення, гнучкість і легка масштабованість, можливість глибокого аналізу і віддаленого налаштування, простота інтеграцій в існуючу комп'ютерну мережу.

Гібридні системи є поки що найбільш поширеними. В них якість одержуваного зображення поступається системам з цифровим форматом, але інші параметри роботи систем цього типу нічим не відрізняються від аналогічних характеристик цифрових систем, а це дає можливість створювати надійні і багатофункціональні системи змішаного типу.

Відмітимо, що сучасні системи відеоспостереження обов'язково використовують Інтернет і для цього мають в своєму складі або відеокамери та відеореєстратори для отримання, запису і збереження відеозображення, а також маршрутизатор та блок управління всіма відеокамерами, або одну мережеву IP-

відеокамеру для невеликих територій чи локальних завдань. Для передачі відеоінформації одночасно з декількох пунктів система відеоспостереження може складатися з декількох мережевих відеокамер.

Спробуємо наочно представити класифікацію систем детектування аномалій у відеоряді, базуючись на зазначених вище класах цих систем (мал. 3).



Малюнок 3. Класифікація систем виявлення аномалій  
у відеоряді камер спостереження

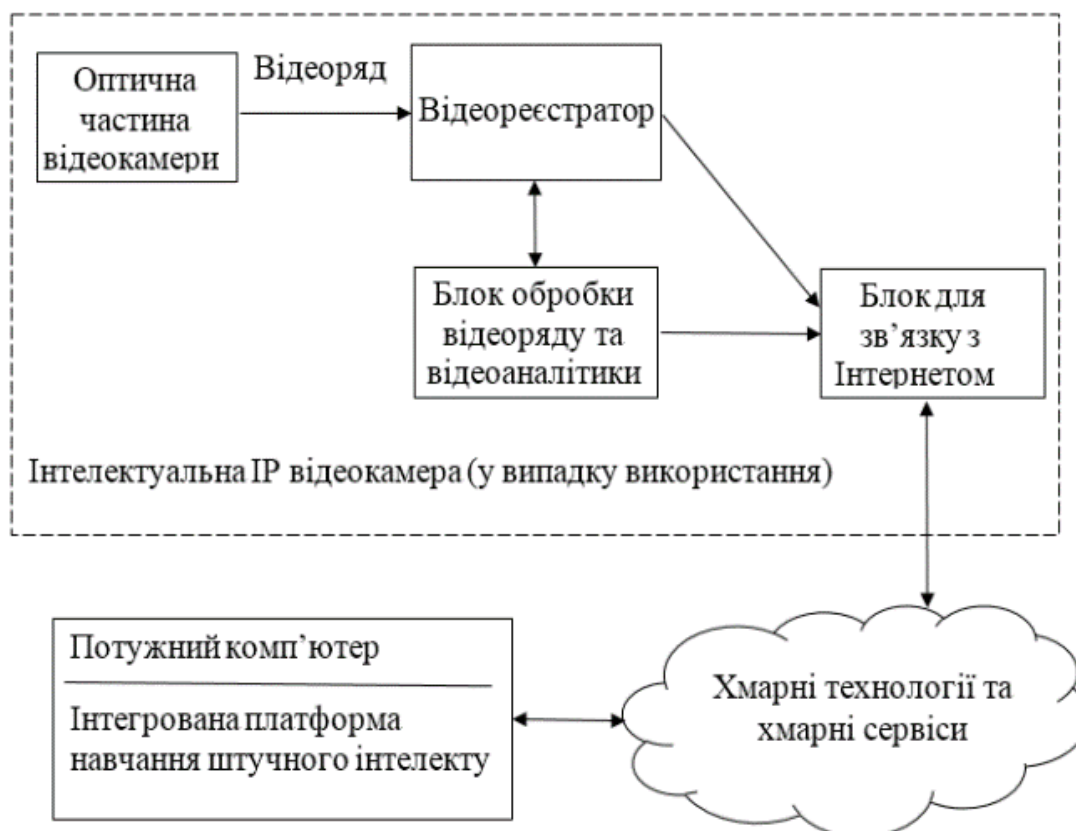
Проведений вище аналіз показує, що для сучасних відеокамер огляд систем детектування аномалій в відеоряді тотожній огляду методів виявлення аномалій в відеоряді камер спостереження. Наведені вище схеми функціонально не відрізняються, але з неупинним розвитком оптики, електроніки та

обчислювальної техніки дещо змінюється апаратний склад систем детектування аномалій у відеоряді камер відеоспостереження.

Обчислювальні та комунікативні (мережеві) можливості IP відеокамер кращі, ніж у потужних комп'ютерів 2000-х років. Але ж і нові методи обробки результатів відеофіксації (а це здебільшого методи, що пов'язані з використанням нейронних мереж) потребують значно більших обчислювальних потужностей. Тут у нагоді стають мережеві можливості IP-відеокамер та хмарні сервіси, за допомогою яких за новітніми мережевими технологіями зберігаються і обробляються величезні обсяги фіксованих даних.

Тепер, маючи відомості про використання програмних чи апаратних блоків відеоаналітики в системах детектування аномалій у відеоряді камер відеоспостереження можна переробити функціональну схему такої системи (мал. 1), зробивши її більш сучасною та універсальною. Отримаємо функціональну блок-схему інтелектуальної системи детектування аномалій в відеоряді (мал. 4).

Функціональна блок-схема інтелектуальної системи детектування аномалій в відеоряді камер відеоспостереження, що зображена на мал. 4, має універсальний характер. Вона показує склад системи детектування аномалій, яка базується на звичайній відеокамері. Після відеореєстрації сигнал з відеокамери передається до блоку обробки чи до Інтернету для більш глибокої обробки за допомогою найсучасніших технологій (нейронні обчислювальні мережі та інші), для подальшого аналізу чи зберігання. Інтелектуальність в такому варіанті забезпечується сучасними алгоритмами та могутніми ресурсами хмарного середовища. У випадку використання більш кошторисної IP відеокамери, виділені штрих-пунктиром блоки наявні у складі самої камери. В залежності від задач системи та наявності певної апаратури в кожному конкретному випадку може бути свій склад системи детектування аномалій.



Малюнок 4. Схема інтелектуальної системи  
детектування аномалій у відеоряді

Сучасні інтелектуальні камери відеоспостереження можуть також мати вбудовані функції відеоаналітики. Перевага тут полягає в тому, що такі можливості аналітики у відеокамерах не залежать від смуги пропускання мережі та часу відгуку сервера. Таке рішення вигідне там, де потрібна висока оперативність та негайний відгук. Відеодані в цьому випадку зберігаються на самих відеокамерах і можуть бути вилучені для аналізу будь-коли через віддалену програму-клієнт. В тому випадку, якщо для спостереження використовується інтелектуальна IP відеокамера, вона об'єднує в собі декілька блоків зі схеми на мал. 4 (пунктирна лінія). Первинна обробка може бути виконана самою камерою (блок обробки відеоряду та відеоаналітики). Якщо потрібні більш потужні обчислювальні ресурси, наприклад, у випадку використання нейронних технологій, то використовуються хмарні ресурси.

Вище нами був зроблений висновок, що відмінності між собою систем пошуку аномалій у відеоряді камер відеоспостереження обумовлені не тільки (і не стільки) технічним складом таких систем. Здебільшого це вплив тих методів, які обирають замовники і конструктори, математики, програмісти та інші спеціалісти для обробки відео інформації.

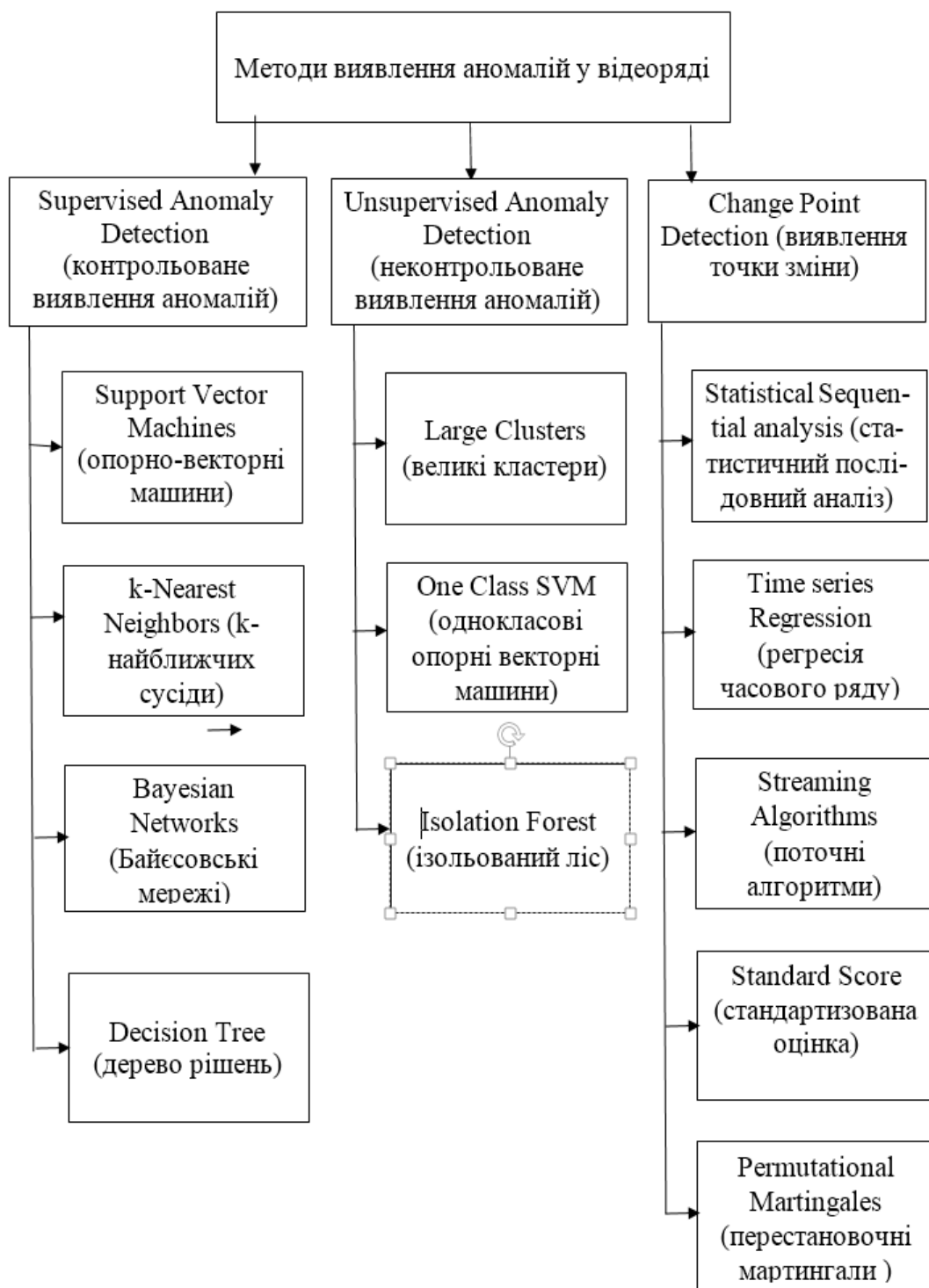
Під час пошуків джерел інформації щодо використання тих чи інших методів обробки відеорядів камер відеоспостереження для детектування аномалій нами було знайдено лише одну роботу в інформаційному просторі України, де було зроблено спробу хоча би перерахувати такі методи та дати посилання на відповідні джерела [281]. Це дуже допомогло в нашому дослідженні, в якому одним з завдань є аналіз властивостей та особливостей методів обробки відеорядів.

На даний час відомі різноманітні методи детектування аномалій у відеоряді камер відеоспостереження. Для більшої наочності представимо у графічному вигляді класифікацію таких методів (мал. 5). Їх прийнято поділяти на два класи: Supervised Anomaly Detection (контрольоване виявлення аномалій) і Unsupervised Anomaly Detection (неконтрольоване виявлення аномалій) [286].

Судячи з численних публікацій, переважно англомовних, методи детектування аномалій нерозривно пов'язані з машинним навчанням. Причому методи класу Supervised Anomaly Detection відносяться до задач навчання зі вчителем, а методи класу Unsupervised Anomaly Detection – до навчання без вчителя.

В методах, що використовують контрольоване виявлення аномалій, до машинного навчання надходять дані з мітками, які встановлюють, чи є аномалії, чи ні. Це такі методи, як опорно-векторні машини (Support Vector Machines) [281, 287], k-Nearest Neighbors (k-найближчих сусідів), Bayesian Networks (Байєсовські мережі), Decision Tree (дерево рішень) та інші [288]. Однак для них трудомісткою і проблемною задачею є правильна установка міток. Крім того, відеодані містять шум, що призводить до частих хибних спрацьовувань системи.





Малюнок 5. Класифікація методів пошуку аномалій  
у відеоряді камер відеоспостереження

Розглянемо далі методи з неконтрольованим виявленням аномалій. Для цього класу методів використовують дані, для яких невідомо, які з них

нормальні, а які аномальні. При аналізі відеоспостережень ця ситуація більш притаманна, і в такому випадку використовуються, в свою чергу, різноманітні підходи.

Найпростішим рішенням є кластеризація. Дослідники виходять з припущення, що більшість даних (великі кластери) є нормою для багатьох задач, і тільки незначний процент даних є аномальними. Тобто дані, що належать до невеликих кластерів, і є шуканими аномаліями.

Інші автори використовують метод One Class Support Vector Machines (однокласові опорні векторні машини) чи One Class SVM. Вони моделюють тільки нормальні дані (на їх думку). Цей алгоритм – одна із форм класичного алгоритму SVM [285, 288]. Як впливає із назви, для його навчання достатньо мати всього один клас – "чисті" спостереження без аномалій.

Ще один, третій клас методів, базується на припущенні [281], що аномалії не тільки нечисленні, але й в них є значення атрибутів, що значно відрізняються від значень численних звичайних екземплярів. Один із прикладів цього типу - це метод Isolation Forest (ізолюваний ліс) [289], який ґрунтується на “розбитті простору ознак детектованого відеоряду у вигляді так званих ізолюючих дерев, і аномаліями виявляються точки, що значно віддаленні від інших” [281].

Ціле сімейство перспективних і поширених [281] методів вирішують задачу пошуку аномалій, як пошук точок зміни певних властивостей чи характеристик відеоряду як часового у зв’язку з тим, що кадри відео змінюються за часом. Назва методу відповідна - Change Point Detection (виявлення точки зміни) або CPD. На цій ідеї базується декілька, як вважають спеціалісти [281], ефективних методів, що дозволяють визначати моменти часу, коли відбуваються суттєві зміни в часовому ряді [290].

На жаль, обсяг статті не дає змоги більш докладно представити результати проведеного порівняльного аналізу методів пошуку аномалій у відеоряді камер спостереження.

Подальші дослідження у цьому напрямі (пошук аномалій у відеоряді) можуть відбуватися наступним чином. Навряд чи можливо одному чи декільком

дослідникам оволодіти всіма існуючими методами пошуку аномалій та перевірити їх хоча би на тестових відеоданих. Тим більше, що треба опанувати теорію та практику нейронних обчислювальних мереж. Необхідно зосередитись на двох чи трьох методах, інформація про використання яких буде здаватися найбільш достовірною. Потім провести порівняльні тестові випробування, що в умовах закритої інформації є доволі складним завданням.

Наприклад, в роботі [281] автори пропонують та самі зосередилися на використанні згорткової глибинної нейронної мережі, (CNN) [291]. Глибинні нейронні мережі набули широкого розвитку та поширення в різноманітних областях завдяки їх високій ефективності при рішенні багатьох задач при роботі з зображеннями і відео [281]. Ми теж вважаємо, що доцільно почати з цього методу.

В результаті проведення даного дослідження було виконано наступне:

1) Проведено огляд основних сучасних систем детектування аномалій в відеоряді камер відеоспостереження. Зроблений висновок, що відмінності між собою систем пошуку аномалій у відеоряді камер відеоспостереження обумовлені вибором методів для обробки відео інформації.

2) Проведено аналіз методів виявлення аномалій у відеоряді камер відеоспостереження. Для цього розроблена класифікація сучасних методів виявлення аномалій в відеоряді та розглянуто основи теорії глибинних нейронних мереж з точки зору можливості їх застосування для класифікації, локалізації, сегментації, виявлення, ідентифікації та моніторингу об'єктів (транспортних засобів чи людей на проїжджій частині) у відеоряді камер спостереження.

3) Запропонований подальший напрямок досліджень: для початку зосередитись на двох чи трьох методах пошуку аномалій у відеоряді, інформація про використання яких буде здаватися найбільше достовірною, та провести порівняльні тестові випробування обраних методів.

### **3.6 Електронні технології навчання**

Інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) останнім часом стали важливою частиною освіти. Використання технологій в освіті революціонізувало спосіб навчання вчителів і навчання учнів. Це зробило навчання більш доступним, інтерактивним і привабливим. Використання ІКТ в освіті не нова концепція. За даними ЮНЕСКО, «ІКТ в освіті передбачає прийняття, інтеграцію та застосування цифрових технологій і ресурсів для покращення процесів навчання, викладання та управління освітою». Інтеграція ІКТ в освіту має різні переваги, такі як можливість дистанційного навчання, покращення доступу до інформації та підвищення навичок критичного мислення учнів [292].

Одним із основних способів використання ІКТ в освіті є електронне навчання. Електронне навчання – це навчання, яке здійснюється за допомогою електронних пристроїв, таких як комп'ютери, смартфони та планшети. Відповідно до звіту Research and Markets, очікується, що глобальний ринок електронного навчання зросте на 9.23% протягом прогнозованого періоду 2020-2025 років. Електронне навчання стає все більш популярним завдяки своїй зручності та гнучкості. Студенти можуть отримати доступ до навчальних матеріалів з будь-якого місця та в будь-який час [293].

Іншим способом використання ІКТ в освіті є гейміфікація. Гейміфікація означає використання елементів ігрового дизайну в неігровому контексті, наприклад, в освіті. Згідно зі звітом MarketsandMarkets, очікується, що ринок гейміфікації зросте до 30,7 мільярда доларів США до 2025 року при середньорічному темпі зростання 27,4% протягом прогнозованого періоду. Використання гейміфікації в освіті має різні переваги, наприклад покращує залучення студентів, мотивацію та утримання [294].

ІКТ також використовуються для персоналізації навчання. Персоналізоване навчання означає використання технологій для адаптації навчальних матеріалів

до потреб і вподобань окремих учнів. Згідно зі звітом Technavio, очікується, що глобальний ринок персоналізованого навчання зросте протягом 2022-2026 років із середньорічним зростанням понад 16.35% протягом прогнозованого періоду. Використання ІКТ в персоналізованому навчанні має різні переваги, такі як покращення результатів навчання студентів, зниження рівня відсіву та покращення залучення студентів. Також ІКТ використовуються для покращення спільного навчання. Спільне навчання означає процес навчання разом з іншими. Використання ІКТ у спільному навчанні має різні переваги, такі як покращення спілкування, командної роботи та навичок вирішення проблем [295].

Заглядаючи вперед, стає зрозуміло, що ІКТ продовжуватимуть відігравати вирішальну роль в освіті. Інтеграція технологій в освіту – це не одноразова подія, а постійний процес адаптації та еволюції. Оскільки технології продовжують розвиватися, з'являтимуться нові можливості та виклики, тому дуже важливо мати політику та ініціативи, які сприятимуть інноваціям, цифровій інклюзії та якісній освіті для всіх. Європейська комісія визнала важливість ІКТ в освіті та запустила План дій цифрової освіти. План спрямований на сприяння використанню технологій в освіті та підтримку розвитку цифрових навичок серед учнів і вчителів. Він включає такі ініціативи, як покращення цифрової інфраструктури в школах, навчання вчителів і сприяння використанню відкритих освітніх ресурсів. [296].

Крім переваг ІКТ в освіті, існують також проблеми, які необхідно вирішити. Одним із викликів є цифровий розрив, який означає розрив між тими, хто має доступ до технологій, і тими, хто його не має. Згідно зі звітом Інституту статистики ЮНЕСКО, близько 463 мільйонів дітей не мають доступу до дистанційного навчання через цифровий розрив. Це підкреслює необхідність політики та ініціатив, які сприяють цифровій інклюзії та забезпечують усім учням доступ до технологій. Також цифровий розрив стосується нерівного доступу до технологій і цифрових ресурсів між різними групами учнів. Це може посилити існуючу нерівність в освіті та обмежити потенціал ІКТ для сприяння інклюзивності та справедливості. Згідно зі звітом Міжнародного союзу

електров'язку, близько половини населення світу все ще не мають доступу до Інтернету, причому більшість тих, хто не підключений до Інтернету, проживає в країнах, що розвиваються. Це підкреслює необхідність політики та ініціатив, які сприяють цифровій інтеграції та подолають цифровий розрив [297].

Ще одна проблема – якість цифрового контенту. Зі зростанням попиту на електронне навчання та цифрові ресурси необхідно забезпечити високу якість вмісту та відповідність потребам учнів. Згідно зі звітом Світового банку, якість цифрового контенту залишається серйозною проблемою для багатьох країн. Це вимагає розробки вказівок і стандартів для створення та керування цифрового контенту [298].

Крім того, інтеграція ІКТ в освіту вимагає значних інвестицій у технологічну інфраструктуру, підготовку вчителів та технічну підтримку. Згідно зі звітом OECD, політикам необхідно інвестувати в ці сфери, щоб забезпечити реалізацію переваг ІКТ в освіті. У звіті також наголошується на важливості розробки комплексної стратегії ІКТ в освіті, яка враховує потреби різних зацікавлених сторін [299].

В останні роки пандемія COVID-19 прискорила впровадження ІКТ в освіту. Із закриттям шкіл та університетів електронне навчання та онлайн-ресурси стали нормою для багатьох студентів і викладачів у всьому світі. Згідно зі звітом Інституту статистики ЮНЕСКО, пандемія вразила понад 1,6 мільярда учнів у 190 країнах. Це підкреслило важливість цифрових технологій у забезпеченні безперервності освіти під час криз. Крім того, пандемія COVID-19 прискорила впровадження онлайн-моделей і моделей змішаного навчання, які поєднують цифрові та традиційні методи навчання. Це дозволило учням отримати доступ до освіти з будь-якого місця, у будь-який час і у власному темпі, а також забезпечило гнучкість і автономію. Однак він також підкреслив необхідність цифрової інфраструктури, підключення та цифрової грамотності, а також важливість соціальної взаємодії та співпраці в навчанні [300].

Однією з ключових переваг ІКТ в освіті є їх потенціал для підвищення залученості та мотивації учнів. Використання технологій, таких як гейміфікація

та інтерактивне моделювання, може зробити навчання більш інтерактивним, веселим і відповідним інтересам і потребам учнів. Вченими було виявлено, що використання гейміфікації в освіті підвищує залученість, мотивацію та результати навчання студентів. Це підкреслює потенціал ІКТ трансформувати спосіб навчання та викладання [301].

Іншою сферою, де ІКТ зробили значний внесок, є сфера дистанційної освіти. Онлайн-навчальні платформи та віртуальні класи надали учням доступ до освіти з будь-якого місця, у будь-який час і у власному темпі. Згідно зі звітом Світового банку, дистанційна освіта має потенціал для подолання фізичних, фінансових і соціальних бар'єрів на шляху до освіти та сприяння інклюзивному навчанню протягом усього життя. Це має значні наслідки для країн, що розвиваються, і маргіналізованих спільнот, де доступ до освіти обмежений [302].

Крім того, інтеграція ІКТ в освіту також призвела до нових можливостей для співпраці та обміну знаннями. Онлайн-платформи та соціальні медіа дозволили учням і викладачам зв'язуватися та обмінюватися ідеями та ресурсами через географічні та культурні кордони. Це призвело до появи нових моделей навчання та викладання, які є більш спільними, міждисциплінарними та глобальними за масштабом [303].

Іншою значною перевагою ІКТ в освіті є їх потенціал для підвищення якості викладання та навчання. Використовуючи цифрові ресурси, викладачі можуть створювати та надавати вміст, який є більш інтерактивним, насиченим мультимедійним вмістом і адаптованим до потреб і вподобань учнів. Це може покращити розуміння та запам'ятовування інформації учнями та сприяти розвитку критичного мислення та навичок вирішення проблем. Крім того, використання ІКТ в освіті також може сприяти оцінюванню та зворотному зв'язку, дозволяючи викладачам контролювати прогрес учнів і надавати своєчасний зворотний зв'язок для покращення результатів навчання. Цифрові інструменти, такі як онлайн-тести та завдання, можуть забезпечити миттєвий зворотний зв'язок і дозволити викладачам коригувати свої навчальні стратегії на основі успішності учнів [304].

Крім того, використання ІКТ в освіті має сприяти активному та спільному навчанню, де учні можуть працювати з цифровими ресурсами, співпрацювати з однолітками та викладачами, а також отримувати індивідуальний відгук і підтримку. Це може допомогти учням розвинути основні навички, такі як спілкування, робота в команді та самостійне навчання, які є критично важливими для успіху в 21 столітті. Ще одна тенденція – використання імерсивних технологій, таких як віртуальна та доповнена реальність, в освіті. Ці технології можуть створити захоплюючий та інтерактивний досвід навчання, який імітує сценарії реального життя та дозволяє учням досліджувати та взаємодіяти зі складними концепціями та явищами. Наприклад, студенти-медики можуть використовувати симуляції віртуальної реальності для відпрацювання хірургічних процедур і невідкладних втручань, а студенти-географи можуть використовувати доповнену реальність для дослідження та аналізу географічних об'єктів і даних [305].

Ще одна тенденція – використання імерсивних технологій, таких як віртуальна та доповнена реальність, в освіті. Ці технології можуть створити захоплюючий та інтерактивний досвід навчання, який імітує сценарії реального життя та дозволяє учням досліджувати та взаємодіяти зі складними концепціями та явищами. Наприклад, студенти-медики можуть використовувати симуляції віртуальної реальності для відпрацювання хірургічних процедур і невідкладних втручань, а студенти-географи можуть використовувати доповнену реальність для дослідження та аналізу географічних об'єктів і даних [306].

Іншим важливим аспектом впровадження ІКТ в освіту є забезпечення того, щоб вони узгоджувалися з більш широкими цілями освіти, такими як сприяння критичному мисленню, творчості та навичкам вирішення проблем. ІКТ слід розглядати як інструмент для покращення досвіду навчання, а не як заміну традиційним методам навчання. Важливо підтримувати баланс між цифровим і нецифровим викладанням і навчальною діяльністю, а також переконатися, що використання ІКТ не перешкоджає соціальному та емоційному розвитку учнів [307]. Впровадження ІКТ в освіту має керуватися баченням інклюзивної та



справедливої освіти, де всі учні мають можливість повністю розкрити свій потенціал незалежно від свого походження, здібностей чи обставин. Це потребує усунення системної нерівності та дискримінації, сприяння різноманітності та інклюзії, а також забезпечення того, щоб використання ІКТ було доступним і адаптованим до різноманітних потреб і вподобань учнів [308].

Загалом інтеграція ІКТ в освіту може змінити спосіб навчання та викладання. Він пропонує нові можливості для персоналізованого, спільного та цікавого навчання. Оскільки технології продовжують розвиватися, буде цікаво побачити, як вони продовжуватимуть формувати майбутнє освіти.

Однак пандемія також оголила цифровий розрив, оскільки багато учнів не мають доступу до технологій та підключення до Інтернету. Це призвело до занепокоєння щодо розширення освітньої нерівності та необхідності термінових дій для сприяння цифровій інклюзії.

Незважаючи на виклики, пандемія також відкрила можливості для інновацій та експериментів в освіті. Багато педагогів та закладів адаптувалися до нових реалій дистанційного та гібридного навчання, використовуючи нові технології та педагогічні підходи. Це призвело до появи нових моделей освіти, які є більш гнучкими, орієнтованими на учня та інклюзивними.

Крім того, використання ІКТ в освіті також може сприяти прозорості та підзвітності в системі освіти. Цифрові платформи та бази даних можуть сприяти збору й аналізу даних, дозволяючи політикам і освітянам відстежувати освітній прогрес і визначати сфери для вдосконалення. Це також може сприяти прийняттю рішень на основі фактичних даних і сприяти постійному вдосконаленню освіти.

Іншим занепокоєнням є якість цифрового контенту та його відповідність освітнім цілям і стандартам. Незважаючи на те, що цифрові ресурси можуть посилити залученість і мотивацію учнів, їм також може бракувати строгості та актуальності традиційних навчальних матеріалів. Це підкреслює потребу в розробці цифрового контенту, який ґрунтується на фактах, рецензується експертами та відповідає освітнім стандартам і цілям.

Крім того, використання ІКТ в освіті також може створювати ризики для конфіденційності та безпеки учнів. Зі збільшенням використання онлайн-платформ і цифрових інструментів особиста та конфіденційна інформація учнів може бути вразливою до витоку даних і кібератак. Це підкреслює необхідність політики та ініціатив, які сприяють конфіденційності та безпеці даних і забезпечують відповідальне використання технологій в освіті.

Підсумовуючи, ІКТ змінили освіту та формують майбутнє навчання. Хоча існують проблеми та ризики, пов'язані з його впровадженням, існують також нові тенденції та інновації, які мають потенціал для підвищення якості освіти, інклюзивності та ефективності. Завдяки правильній політиці, інвестиціям і можливостям ІКТ можна використовувати для сприяння сталому розвитку та забезпечення якісної освіти для всіх. ІКТ мають потенціал трансформувати освіту та сприяти інклюзивному та якісному навчанню для всіх. Однак його ефективне впровадження вимагає забезпечення якості та актуальності цифрового контенту та сприяння конфіденційності та безпеки даних. За допомогою правильної політики та ініціатив ІКТ можна використовувати для сприяння сталому розвитку та забезпечення якісної освіти. ІКТ зробили революцію в тому, як ми навчаємося та викладаємо, від персоналізованого та захоплюючого досвіду навчання до оцінювання та зворотного зв'язку та прийняття рішень на основі даних, а також до дистанційної освіти та глобальної співпраці. Хоча існують проблеми з його ефективним впровадженням, потенційні переваги ІКТ в освіті є значними, від сприяння інклюзивності та навчання впродовж життя до підвищення якості освіти та підзвітності. Незважаючи на значні переваги ІКТ в освіті, існують також потенційні ризики та проблеми, які необхідно вирішити. Незважаючи на виклики цифрового розриву та якості цифрового контенту, немає сумніву, що ІКТ мають потенціал для сприяння інклюзивному навчанню протягом усього життя та підготовки учнів до вимог 21 століття. Важливо мати політику та ініціативи, які сприяють інноваціям, цифровій інклюзії та якісній освіті для всіх. ІКТ змінили освіту багатьма способами, від персоналізованого та спільного навчання до управління кризами та стійкості. Однак необхідно

вирішити проблеми якості цифрового контенту та інвестицій у технологічну інфраструктуру та навчання, щоб забезпечити всім учням доступ до якісної освіти і розвитку цифрового контенту та навчання викладачів. Це підкреслює необхідність ініціатив, які сприяють цифровій інклюзії, інноваціям та розвитку потенціалу в освіті. Завдяки правильній політиці та ініціативам ІКТ можна використовувати для сприяння інноваціям, цифровому залученню та сталому розвитку. Використання ІКТ в освіті може змінити спосіб навчання та викладання. Він пропонує нові можливості для персоналізованого, спільного та цікавого навчання. Завдяки правильній політиці та ініціативам ІКТ можна використовувати для того, щоб усі учні мали доступ до якісної освіти, яка готує їх до майбутнього. ІКТ змінили спосіб надання та отримання освіти. Це відкрило нові можливості як для учнів, так і для вчителів. Використання ІКТ в освіті має різні переваги, такі як можливість дистанційного навчання, покращення доступу до інформації та підвищення навичок критичного мислення учнів. Оскільки технології продовжують розвиватися, вони, безсумнівно, відіграватимуть усе більш важливу роль в освіті.

**SECTION 4. ELECTRICAL ENGINEERING**

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.4.1

**4.1 Розробка термогазодинамічної моделі турбовентиляторної приставки триконтурного двигуна**

Однією з перспективних схем є авіаційний двигун Open Rotor, однак він має один істотний недолік - високий рівень шуму [309, 310]. Частково вирішити цю проблему дозволяє наявність капота [311, 312]. Триконтурний двигун (газотурбінний двигун з турбовентиляторною приставкою) також дозволяє вирішити проблему зниження шуму за рахунок мотогондоли турбовентиляторної приставки. Триконтурні та двоконтурні двигуни (ТРТД та ТРДД) мають більш високі значення тягового та повного коефіцієнта корисної дії (ККД) при дозвукових швидкостях польоту (до 300м/с), ніж турбореактивного двигуна (ТРД). Відповідно на цих режимів ТРТД та ТРДД при однакових параметрах робочого процесу газогенератора та однаковій витраті повітря через газогенераторний контур мають велику тягу за стартових умов на 35-40% порівняно з параметрами ТРД. На крейсерському режимі польоту з дозвуковою швидкістю тяга ТРТД і ТРДД на 12- 15% більше, ніж тяга ТРД. Більш високі значення повного ККД ТРТД (порівняно з ТРДД) пояснюється відсутністю в ТРТД негативного впливу модуля вентилятора (яке має місце у двоконтурному ТРДД) на параметри газогенераторного контуру, тобто збільшення ККД компресора низького тиску і компресора високого тиску газогенератора на 3...5 % [313-315]. Таким чином, дослідження характеристик триконтурних двигунів є актуальними.

Термогазодинамічна модель представляє собою набір рівнянь, які описують термодинамічні і газодинамічні процеси в турбінній і вентиляторній частині турбовентиляторної приставки газотурбінного двигуна. За результатами теоретичного термогазодинамічного розрахунку буде отримано геометричні параметри турбінної і вентиляторної частини турбовентиляторної приставки.

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

Для побудови термогазодинамічної моделі турбовентиляторної приставки для вентиляторного контуру за прототип було взято лопатки вентиляторного контуру типу ТРДД Д-18Т. Завдання складалося з наступних етапів:

1. Визначення газодинамічних параметрів потоків, що протікають через ступені турбіни та через турбовентиляторну приставку.
2. Визначення параметрів ступенів турбіни та турбовентиляторної приставки.
3. Розрахунок геометричних розмірів та побудова лопаток першого ступеню турбіни.
4. На основі отриманих результатів розробка геометричної моделі та проведення моделювання течії в турбовентиляторній приставці з одним ступенем турбіни в програмному комплексі ANSYS CFX.

Для розрахунку параметрів потоку через вентилятор обрано режим 0,7 номіналу. Розрахунок проводився для висоти 0 км, швидкості польоту  $M=0,4$  та температурі  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Результати розрахунку представлені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати розрахунку параметрів потоку через вентилятор

Параметр	Розмірність	Значення
Висота	км	0
Тиск атмосфери	кгс/см <sup>2</sup>	1.0332
Температура атмосфери	°К	288
Число Маха	-	0.4
Повний тиск на вході	кгс/см <sup>2</sup>	1.15362
Температура атмосфери повна	°К	297.22
Швидкість польоту	м/с	136.08
Температура за вентилятором, повна	°К	330.8
Обороти вентилятору	об./хв.	2980.9
Сумарна витрата повітря	кг/с	734.584

Параметр	Розмірність	Значення
Сумарна тяга	кгс	11394
Витрата повітря через перший контур	кг/с	95.941
Ступінь двоконтурності	-	6.657

Робота та потужність вентилятора, визначається за формулою [316]:

$$L_B = \frac{k}{k-1} R(T_{2B} - T_{1B})$$

$$W_B = L_B G_B$$

де  $T_{1B}$ ,  $T_{2B}$  - повні температури повітря перед та за вентилятором, відповідно;  
 $G_B$  - витрата повітря через вентилятор.

Згідно з результатами приведеними в таблиці 1, робота вентилятора становить  $L_B = 3,308 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ , а потужність  $W_B = 2,393 \cdot 10^4 \text{кВт}$ . Отримані параметри має вентилятор на обраному режимі при існуючих геометричних характеристиках, а саме радіус втулки вентилятора 320 мм і зовнішньому радіусу вентилятора 1220 мм.

Для створення моделі турбовентиляторної приставки, оскільки радіус турбіни може бути значно більший радіуса втулки вентилятора, визначимо параметри турбіни при різних її зовнішніх радіусах. При цьому приймаємо, що радіус втулки вентилятора більший за зовнішній радіус турбіни на  $\delta_{BT} = 30 \text{ мм}$ .

При збільшенні радіуса втулки вентилятора приймаємо, що витрата повітря через вентилятор зменшується пропорційно за формулою:

$$G_{B-p} = G_B \frac{F_p}{F_0}$$

$$G_{B-p} = G_B, \text{ якщо } R_T + \delta_{BT} < R_{BT}$$

де  $F_0$  – омітаюча площа вентилятору при радіусі втулки 320 мм;

$F_p$  – омітаюча площа вентилятору при поточному радіусі втулки;

$R_T$  - зовнішній радіус турбіни;

$R_{BT}$  - втулковий радіус вентилятора двигуна прототипу.

Для визначення газодинамічних параметрів потоку газу через турбіну використовувалась методика, яка описана в роботі [316]. Представлений алгоритм був реалізований в програмному середовищі MathCad.

Для виконання розрахунку параметрів ступеня турбіни необхідно задати наступні вхідні дані:

- Повний тиск на вході до турбіни, прийнято 19,5 МПа;
- Повна температура газу на вході до турбіни, прийнято 1500 К;
- Коефіцієнт навантаження ступеня турбіни на середньому радіусі прийнятий 2 (оскільки лопатка турбіни жорстко закріплена з обох сторін);
- Робота, яку повинен виконувати ступінь турбіни визначалась через коефіцієнт навантаження та колову швидкість;
- Кінцевий, середній та втулковий діаметри перед робочим колесом турбіни;
- Кут виходу потоку газу на виході із соплового апарату прийнятий  $20^\circ$ ;
- Колова швидкість на середньому діаметрі робочого колеса, визначалась через швидкість обертання вентилятору;
- Приведена швидкість на виході із соплового апарату, підбиралась ітераційним шляхом для забезпечення збіжності за роботою, що виконується;
- Коефіцієнт збереження повного тиску в сопловому апараті прийнятий 0,98.

За допомогою розробленої програми виконана серія розрахунків щодо визначення характеристик турбіни турбовентиляторної приставки при різних значеннях зовнішнього радіусу турбіни. Результати розрахунків представлені на рисунках 1 –6.

Отримано залежність витрати газу через турбіну від кількості ступенів турбіни в діапазоні зовнішніх радіусів турбіни від 0,4 м до 1 м (рис.1). Залежність коефіцієнту напруженості турбіни від кількості ступенів турбіни в діапазоні зовнішніх радіусів турбіни від 0,4 м до 1м показано на рис. 2. Залежність потужності вентилятора від зовнішнього радіусу турбіни

продемонстровано на рис. 3. Залежність потужності одного ступеня турбіни від кількості ступенів турбіни для турбіни з різними зовнішніми радіусами показано на рис. 4. Залежність висоти лопатки турбіни від кількості ступенів турбіни для турбіни з різними зовнішніми радіусами представлено на рис. 5. Значення ступеня реактивності турбіни в залежності від кількості ступенів турбіни для турбіни з різними зовнішніми радіусами показано на рис. 6.

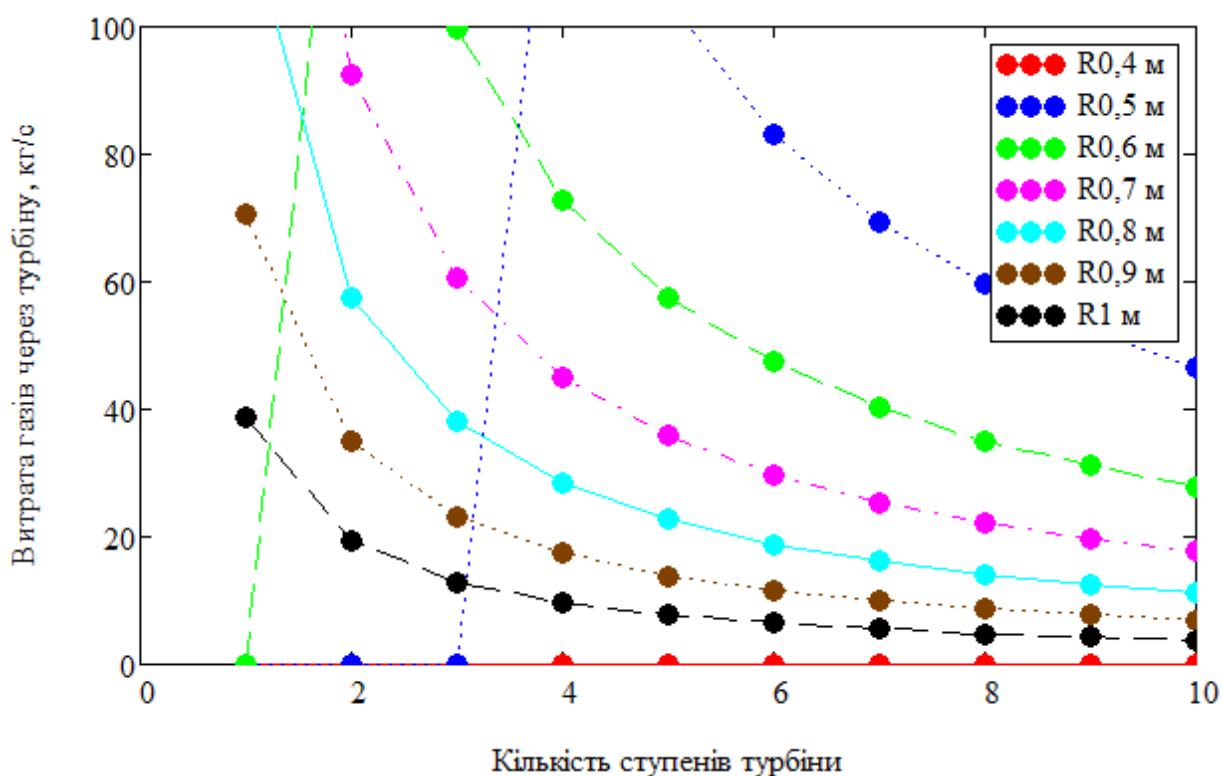


Рисунок 1. Витрата газу через турбіну в залежності від кількості ступенів турбіни для різних зовнішніх радіусів турбіни.



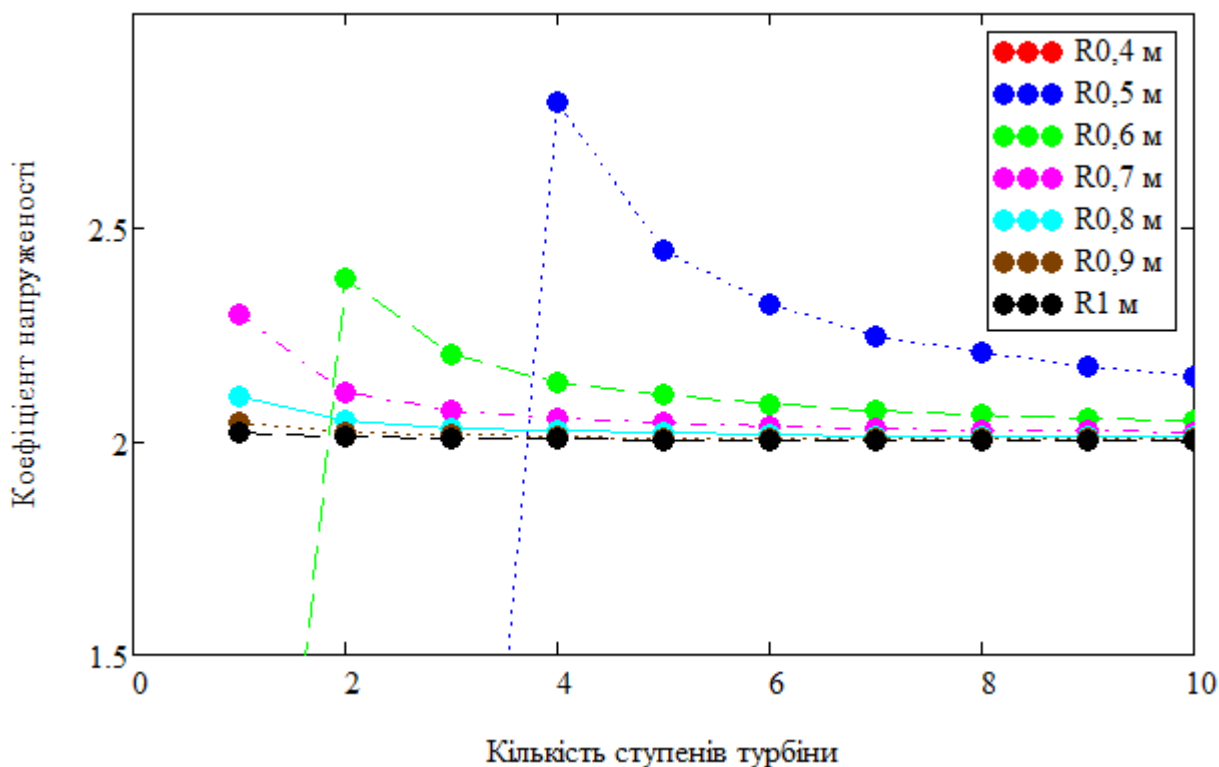


Рисунок 2. Залежність коефіцієнту напруженості турбіни від кількості ступенів турбіни.

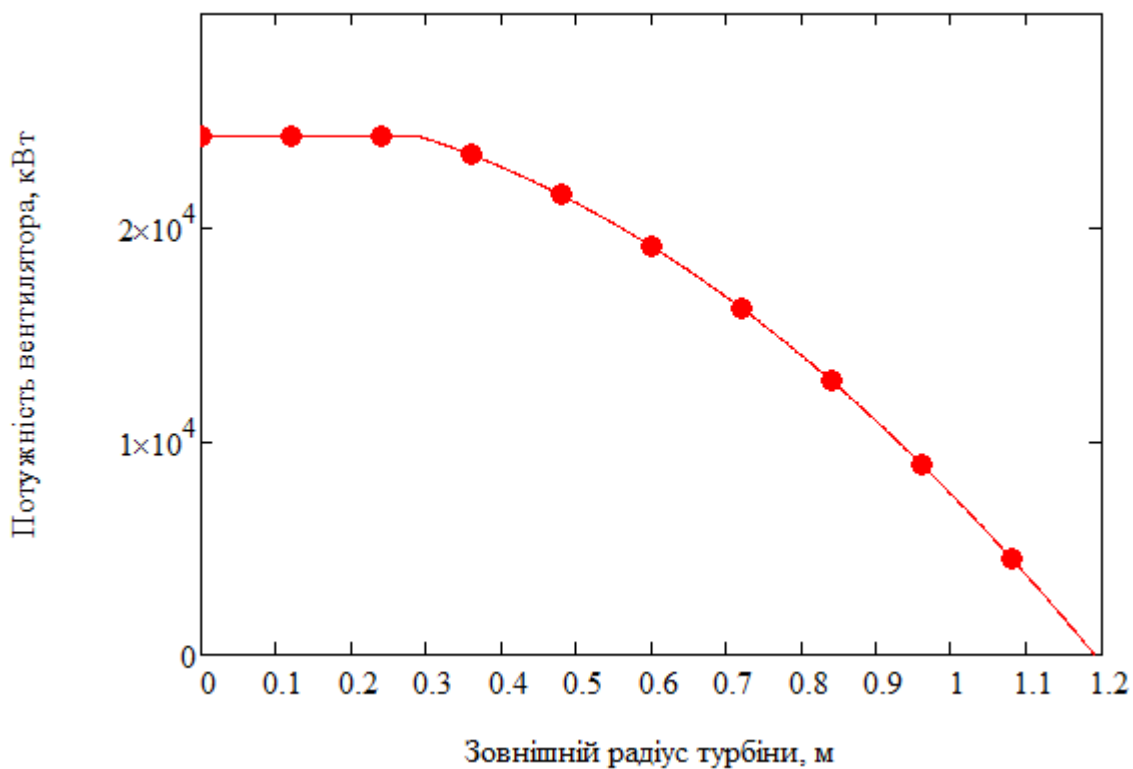


Рисунок 3. Залежність потужності вентилятора від зовнішнього радіусу турбіни.

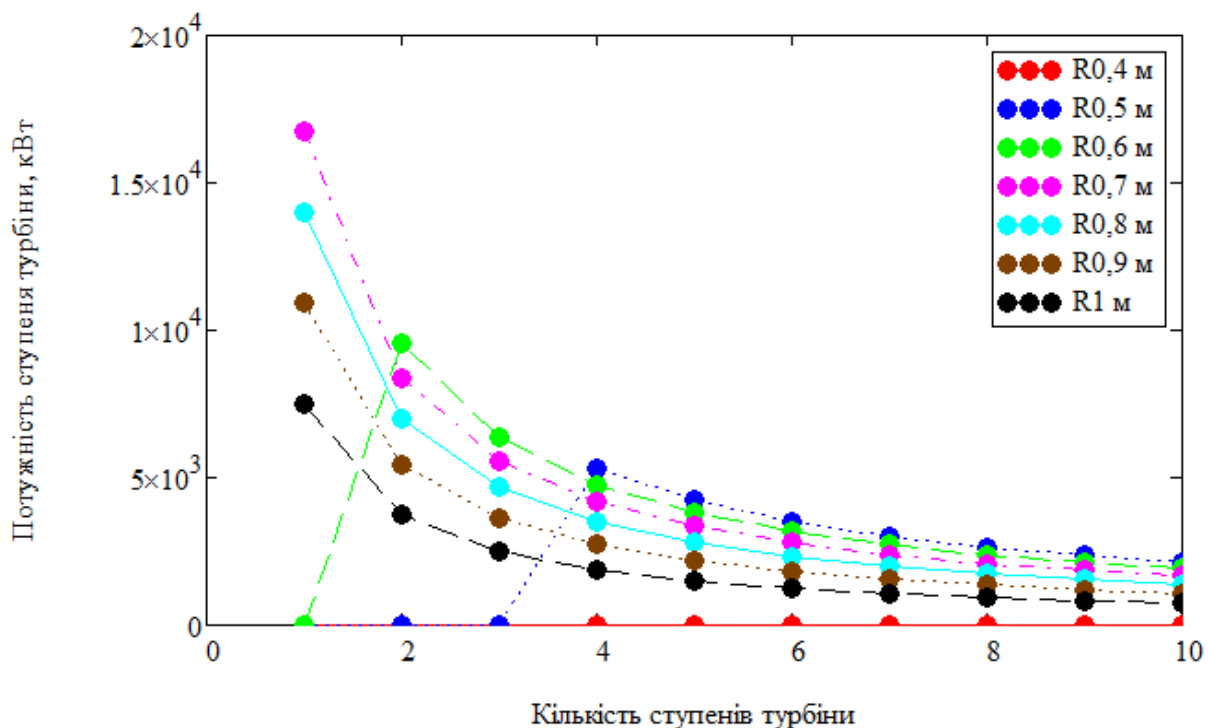


Рисунок 4. Залежність потужності одного ступеня турбіни від кількості ступенів турбіни для турбіни з різними зовнішніми радіусами.

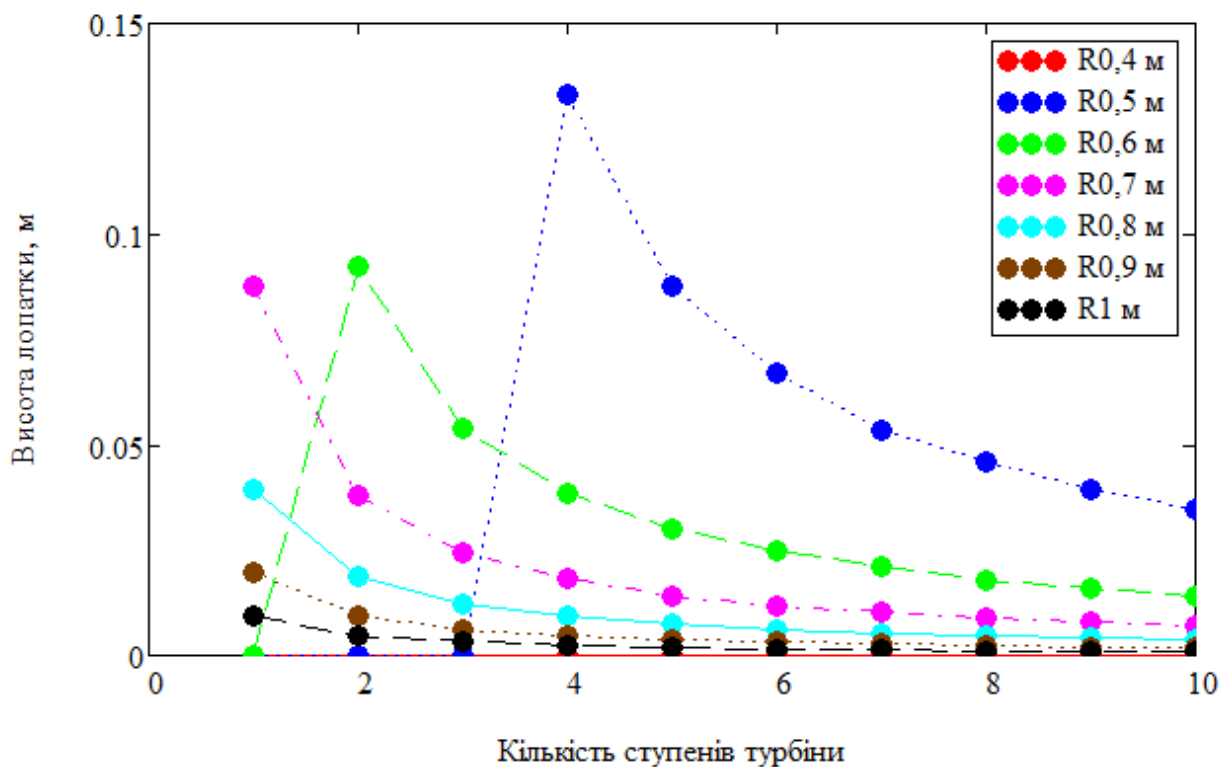


Рисунок 5. Залежність висоти лопатки турбіни від кількості ступенів турбіни для турбіни з різними зовнішніми радіусами.

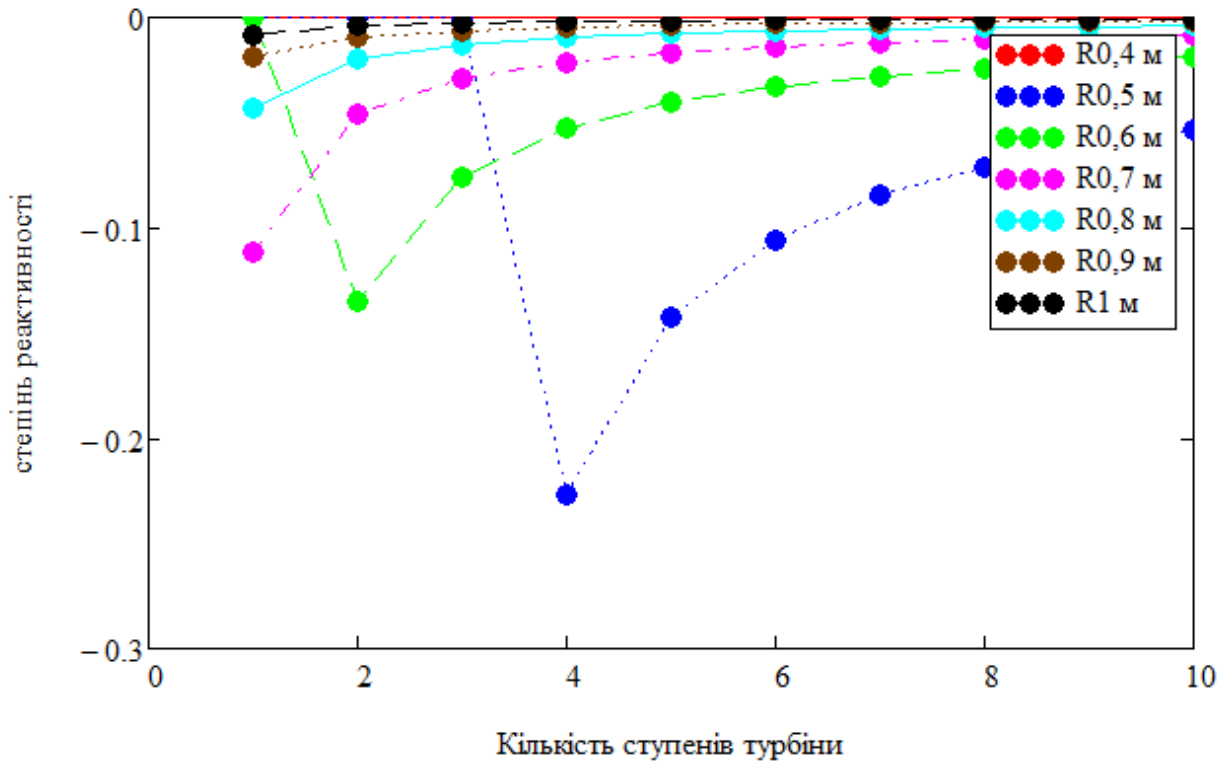


Рисунок 6. Значення ступеню реактивності турбіни в залежності від кількості ступенів турбіни для турбіни з різними зовнішніми радіусами

Для подальших розрахунків було обрано зовнішній радіус турбіни 0,7 м та кількість ступенів турбіни 3. Втулковий радіус турбовентиляторної приставки становить 0,73 м – для її побудови частина лопатки вентилятора двигуна Д-18 Т нижче втулкового радіусу відкидається. Товщина корпусу задається 3 см.

Наступним етапом роботи був розрахунок геометричних розмірів та побудова лопаток першого ступеню турбіни. Для побудови профілю лопатки турбіни обрано симетричний профіль з відносною товщиною на середньому діаметрі 15 %. Значення відносних координат точок профілю представлене у таблиці 2.

Приймаємо, що середня лінія профілю вигинається по параболі. Рівнянням параболи у загальному випадку є рівняння кривої другого порядку, яке можна записати у наступному вигляді:

$$A \cdot x^2 + B \cdot x \cdot y + C \cdot y^2 + D \cdot x + E \cdot y + F = 0 \quad (1)$$

Додатковою умовою для параболи є рівняння:

$$B^2 + 4A \cdot C = 0$$

Рівняння 1 можна записати у наступній формі

$$y(x) = \frac{-Bx - E \pm \sqrt{(B \cdot x + E)^2 - 4C(A \cdot x^2 + D \cdot x + F)}}{2C} \quad (2)$$

Таблиця 2.

Значення відносних координат точок аеродинамічного профілю турбіни

$\underline{x}, \%$	$\underline{y}, \%$	$\underline{x}, \%$	$\underline{y}, \%$
0	0	40	50.9
1.25	11.7	50	47.6
2.5	15.4	60	37
5	19.9	70	25.1
10	27.4	80	14.2
15	34	90	8.5
20	39.5	95	7.2
30	47.2	100	0

Побудувати параболу можна, знаючи рівняння двох дотичних до неї та ще однієї точки. Перші дві дотичні визначені конструкційним кутом входу лопатки в носіку профілю та конструкційним кутом виходу лопатки в кінцевій точці профілю. Додаткову точку можна визначити як середину відрізка, що поєднує середини відрізків, які, в свою чергу, поєднують точку перетину двох дотичних та точку на параболі. Необхідні елементи представлені на рисунку 7.

Рівняння дотичної до кривої в точці має наступний вигляд:

$$y - y_0 = \varphi'(x_0) \cdot (x - x_0)$$

де

$\varphi'(x_0) = tg(\alpha)$  – похідна кривої другого порядку в точці  $x_0$ ;

$\alpha$  – кут між дотичною та віссю  $x$ .

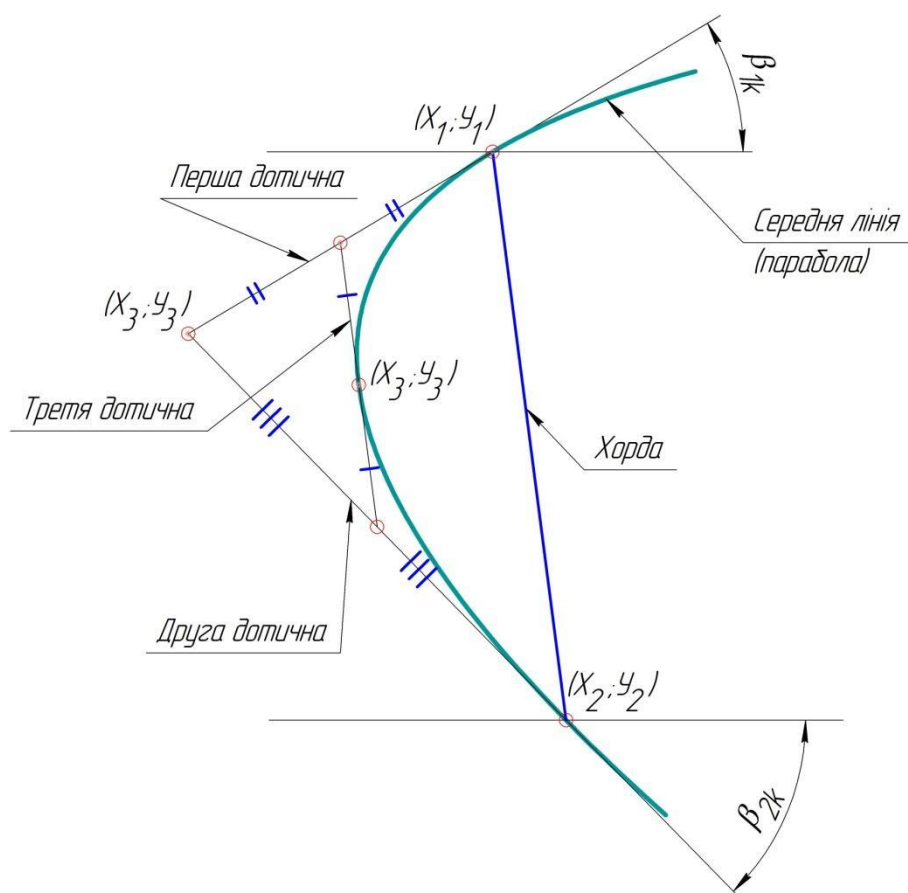


Рисунок 7. Схема побудови дотичних

Похідна неявної функції для рівняння кривої другого порядку має наступний вид:

$$2A \cdot x + B \cdot (y + x \cdot y') + 2C \cdot y \cdot y' + D + E \cdot y' = 0$$

Після спрощення отримаємо наступне рівняння:

$$\varphi'(x_0) = y' = \frac{2A \cdot x_0 + B \cdot y_0 + D}{B \cdot x_0 + 2C \cdot y_0 + E} = \operatorname{tg}(\alpha)$$

Для знаходження коефіцієнтів у рівнянні параболи слід вирішити рівняння:

$$\begin{cases} \frac{2A \cdot x_1 + B \cdot y_1 + D}{B \cdot x_1 + 2C \cdot y_1 + E} = \\ \frac{2A \cdot x_2 + B \cdot y_2 + D}{B \cdot x_2 + 2C \cdot y_2 + E} = \operatorname{tg}(\alpha_2) \\ = \operatorname{tg}(\alpha_1) \frac{A \cdot x_1^2 + B \cdot x_1 \cdot y_1 + C \cdot y_1^2 + D \cdot x_1 + E \cdot y_1 + F = 0}{A \cdot x_2^2 + B \cdot x_2 \cdot y_2 + C \cdot y_2^2 + D \cdot x_2 + E \cdot y_2 + F = 0} \end{cases} \times \frac{A \cdot x_3^2 + B \cdot x_3 \cdot y_3 + C \cdot y_3^2 + D \cdot x_3 + E \cdot y_3 + F = 0}{B^2 + 4A \cdot C = 0}$$

Після розв'язку отриманих рівнянь і знаходження значень коефіцієнтів, знаходять початкові координати точок профілю за формулами:

$$x_i = \frac{x_i}{100} b_{pk} \text{ та } \Delta y_i = \frac{y_i}{100} b_{pk} \cdot c_{max}$$

де  $b_{pk}$  – хорда лопатки робочого колеса;  $i$  – порядковий номер точки;  $c_{max}$  – відносна товщина профілю;  $\Delta y_i$  – відстань від середньої лінії, по нормалі до неї, до точки на профілі.

Координати точок профілю будуються по нормалі до середньої лінії. Рівняння нормалі має наступний вид:

$$y = \frac{-1}{\varphi'(x_0)} \cdot (x - x_0) + y_0$$

Значення координати  $y_0$  отримують з рівняння 2.

Для автоматичного обчислення точок профілю розроблено програму у додатку Mathcad. Розрахований профіль турбіни по середньому радіусу представлений на рисунку 8.

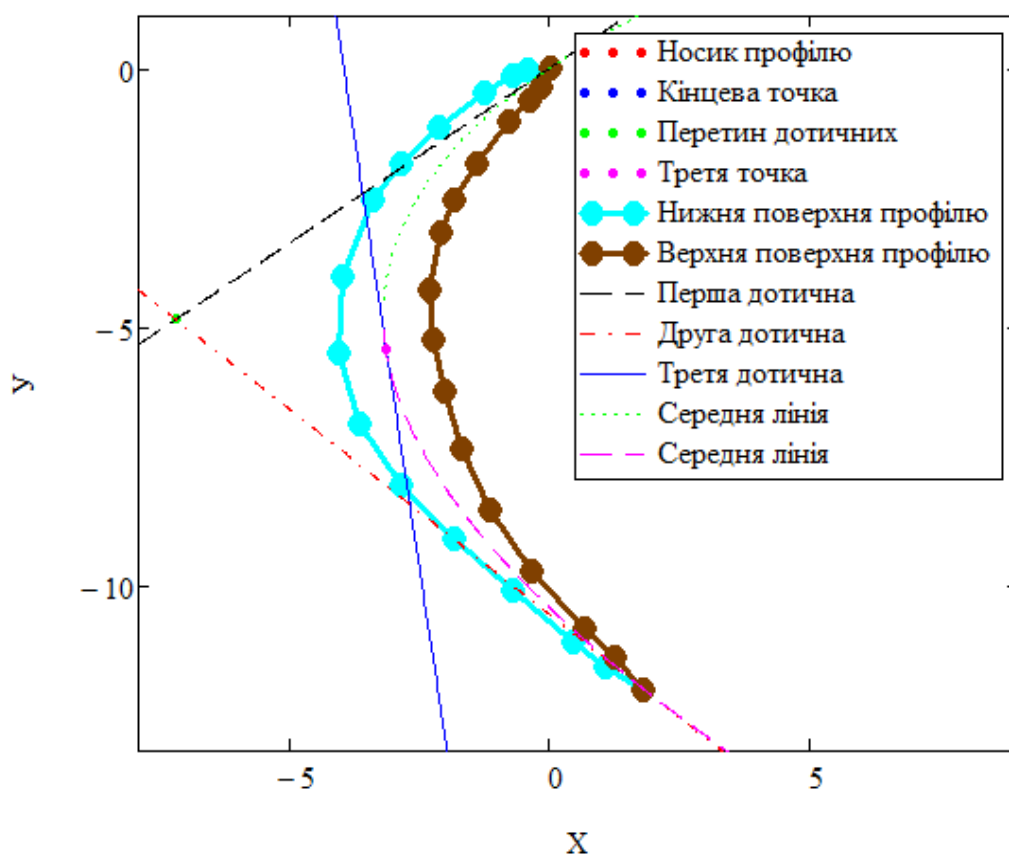


Рисунок 8. Профіль турбіни по середньому радіусу

Далі було виконано розрахунки профілю лопаток турбіни на зовнішньому та втулковому радіусі. За результатами обчислень побудована 3D модель лопатки турбіни, яка представлена на рисунку 9.

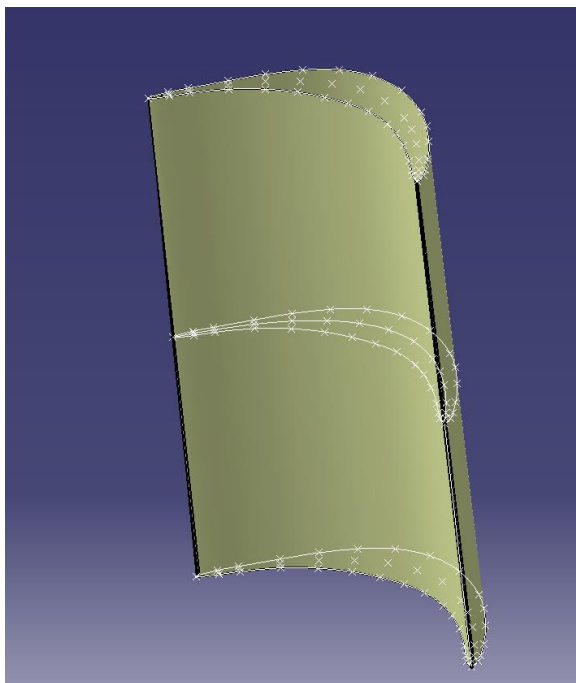


Рисунок 9. 3D модель лопатки першого ступеню турбіни.

Наступною задачею було моделювання течії в турбовентиляторній приставці з одним ступенем турбіни. Моделювання течії в турбовентиляторній приставці реалізовано в програмному додатку ANSYS CFX, оскільки цей продукт є одним із світових лідерів для моделювання агрегатів турбореактивних двигунів.

За результатами попередніх етапів визначено геометричні розміри турбовентиляторної приставки на основі лопатки вентилятора прототипу двигуна, а також першого ступеню лопаток турбіни. Останні ступені не моделюються.

При побудові моделі прийняті наступні припущення:

- моделюється тільки один ступінь турбіни;
- турбовентиляторна приставка моделюється сектором, який включає тільки одну лопать (кут сектору становить  $10,9^\circ$ );

- турбіна моделюється одним сектором, який включає три лопатки (кут сектору  $2,11^\circ$ );
- лопатки турбіни без системи охолодження;
- відпрацьовані гази в турбіні розглядаються як повітря;
- променевий теплообмін не розглядається;
- спрямний апарат за турбовентиляторною приставкою не моделюється.

Тривимірна модель була розроблена у модулі геометрії. Канал 2-го контуру моделюється прямими ділянками круглого перетину без профілювання. Вхідний пристрій до 2-го контуру не моделюється. Сектор турбіни і вентилятора турбовентиляторної приставки з'єднані через металеву обичайку для моделювання теплообміну від турбіни до лопатки вентилятора турбовентиляторної приставки. Для визначення впливу теплового потоку від гарячих газів першого контуру на характеристики потоку через другий контур турбовентиляторної приставки перед та за турбіною додатково моделюються ділянки гарячих потоків повітря довжиною 1 м. Сопловий апарат турбіни не моделюється, напрямок потоку задається вектором швидкості. Загальний вигляд моделі представлений на рисунку 10.

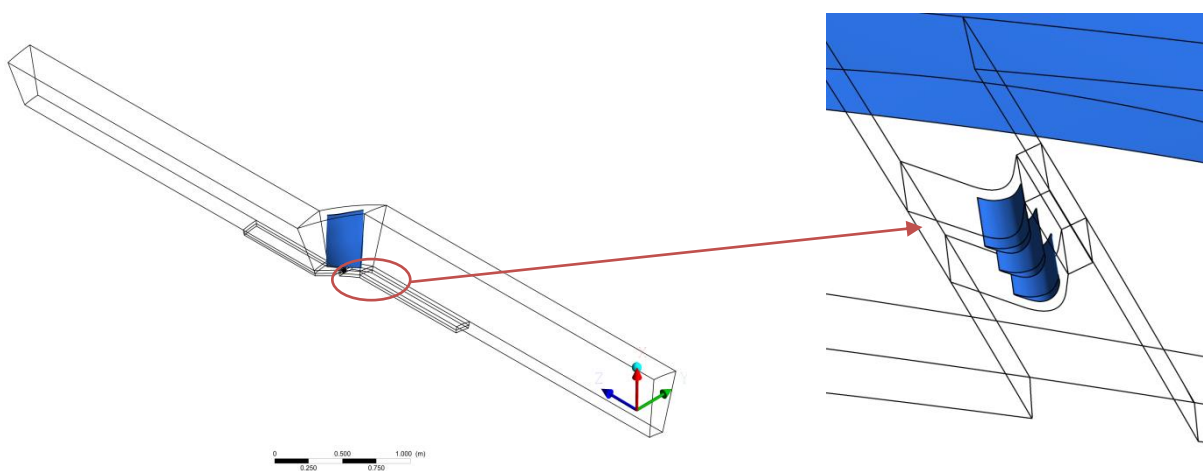


Рисунок 10. Загальний вигляд розрахункової моделі.

За тривимірною твердотільною моделлю турбовентиляторної приставки було побудовано сіткову модель. Модель складається з 11 розрахункових



областей. Кожна область розбита гексаедричною структурованою сіткою. Для моделювання примежового шару початкова висота розрахункової комірки біля стінок становила  $10^{-3}$  мм. Лопатка вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки вздовж хорди розбита на 100 комірок, лопатки турбіни турбовентиляторної приставки – 90 комірок. Побудована сітка для лопаток вентилятора та лопаток турбіни турбовентиляторної приставки представлена на рисунку 11.

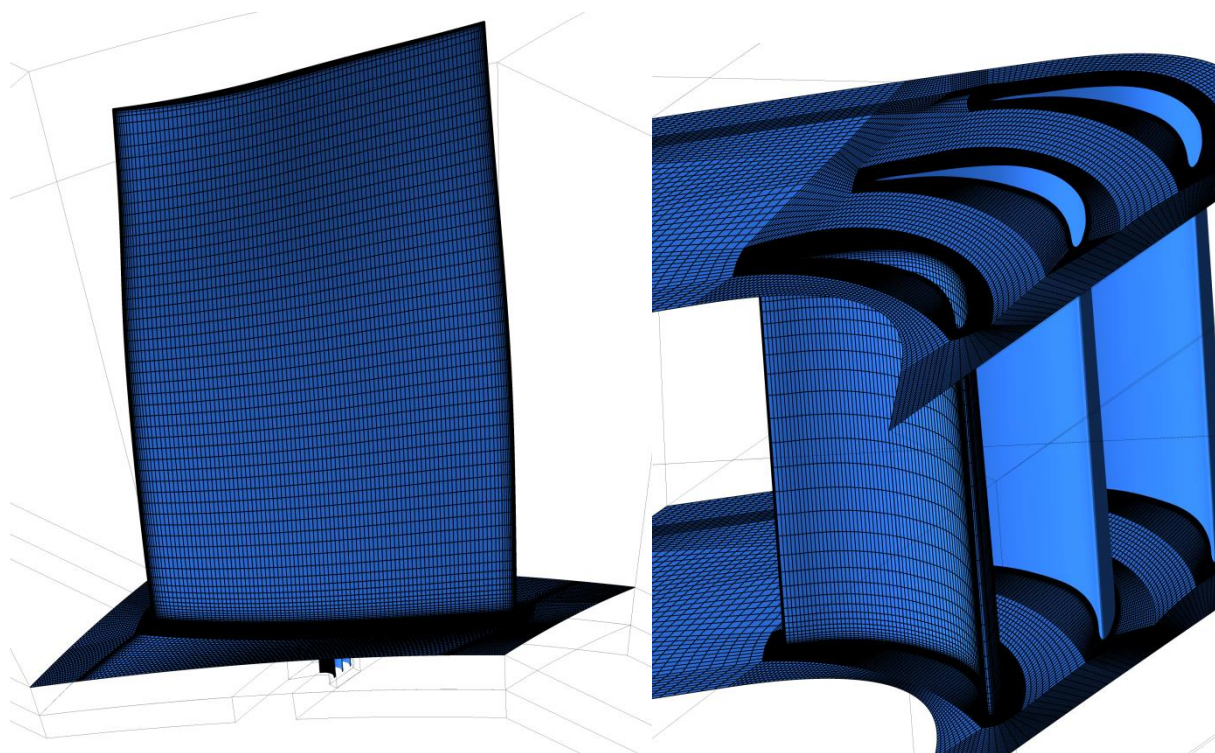


Рисунок 11. Розрахункова сітка лопаток вентилятора та лопаток турбіни турбовентиляторної приставки.

Для моделювання турбулентності використано модель SST GTT. Для моделювання теплових процесів обрано модель Thermal Energy.

Області Compressor air, Turbine air, Compressor wall та Compressor blade задані як такі, що обертаються з кутовою швидкістю 2980 об/хв. Області, що обертаються, пов'язані зі статичними областями інтерфейсами за допомогою моделі Frozen Rotor. Для бокових поверхонь, які обмежують області, що є секторами, задані інтерфейси, для яких обрано властивості Rotational Periodicity. Загальний вигляд розрахункової моделі представлено на рис. 12.

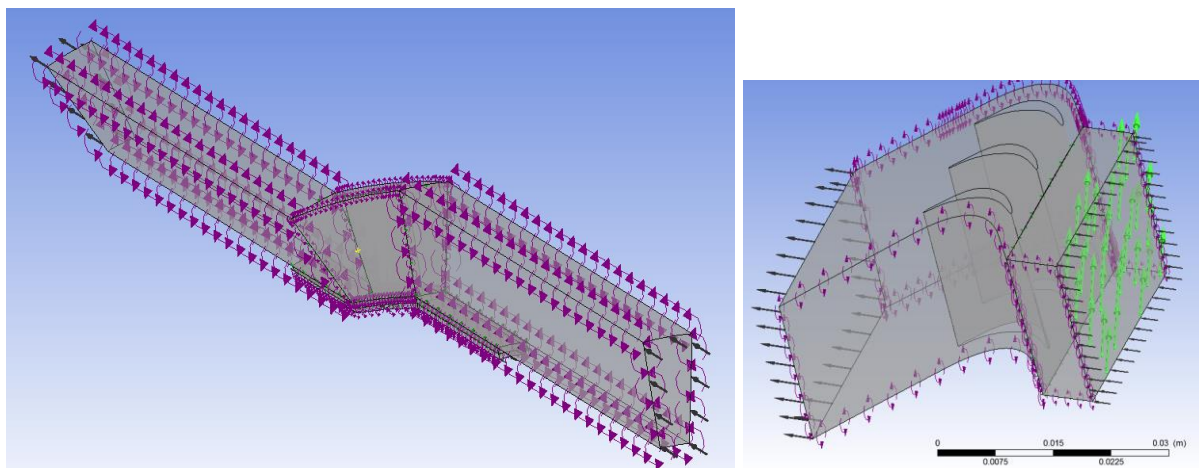


Рисунок 12. Розрахункова модель.

В якості граничних умов задано наступні параметри:

- Область Air in, гранична умова ( далі ГУ) Inlet – тип вхід, повний тиск  $1.15362 \text{ кгс/см}^2$ , повна температура  $297,22 \text{ К}$ ;
- Область Air out, ГУ Outlet – тип вихід, витрата повітря  $18,734 \text{ кг/с}$ ;
- Область Turbine inlet, ГУ Turbine Inlet - тип вхід, повний тиск  $19.3436 \text{ атм}$ , повна температура  $1500\text{К}$ , напрямок потоку Cylindrical Components, осьова компонента –  $0,342$ , радіальна –  $0$ , тангенціальна –  $0,94$ ;
- Область Turbine air, ГУ Turbine outlet – тип вихід, витрата повітря  $0.357 \text{ кг/с}$ ;
- Область Hot air in, ГУ Hot air Inlet – тип вхід, повний тиск  $19,3436 \text{ атм}$ , повна температура  $1500 \text{ К}$ ; ГУ Hot air Outlet – тип вихід, витрата повітря  $1,428 \text{ кг/с}$ ;
- Область Hot air out, ГУ Hot air Inlet – тип вхід, повний тиск  $15.156 \text{ атм}$ , повна температура  $1400 \text{ К}$ ; ГУ Hot air Outlet – тип вихід, витрата повітря  $1,428 \text{ кг/с}$ ;

Усі інші граничні умови, окрім інтерфейсів, задавалися як стінка.

Параметри розрахунку наступні: автоматичний контроль кроку за часом, початкова довжина  $0,001 \text{ м}$ , максимальний крок за часом  $0,1 \text{ с}$ .

Під час розрахунку відстежувалися параметри обертового моменту вентилятора та для турбіни турбовентиляторної приставки, які визначались за формулами:

$$T_{\Pi} = 33 \cdot T_{\Pi 1Л}; \quad T_T = 510 \cdot 3 \cdot T_{T1Л},$$

Де  $T_{\Pi 1Л}$ ,  $T_{\Pi}$  - обертові моменти однієї лопаті вентилятора та лопаткового вінця вентилятора відповідно;  $T_{T1Л}$ ,  $T_T$  - обертові моменти однієї лопатки та усієї турбіни відповідно.

Графіки зміни параметрів під час розрахунку представлені на рис. 13.

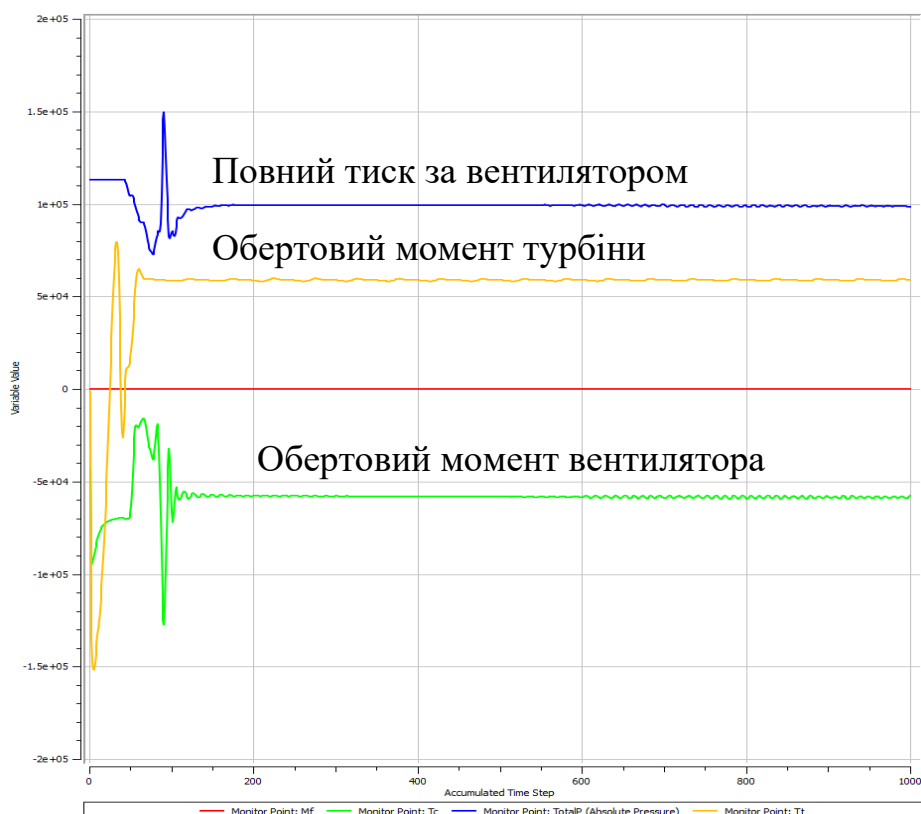


Рисунок 13. Зміна параметрів під час розрахунку.

Результати розрахунків у вигляді візуалізації обтікання турбовентиляторної приставки представлені на рисунках 3.14-3.15.

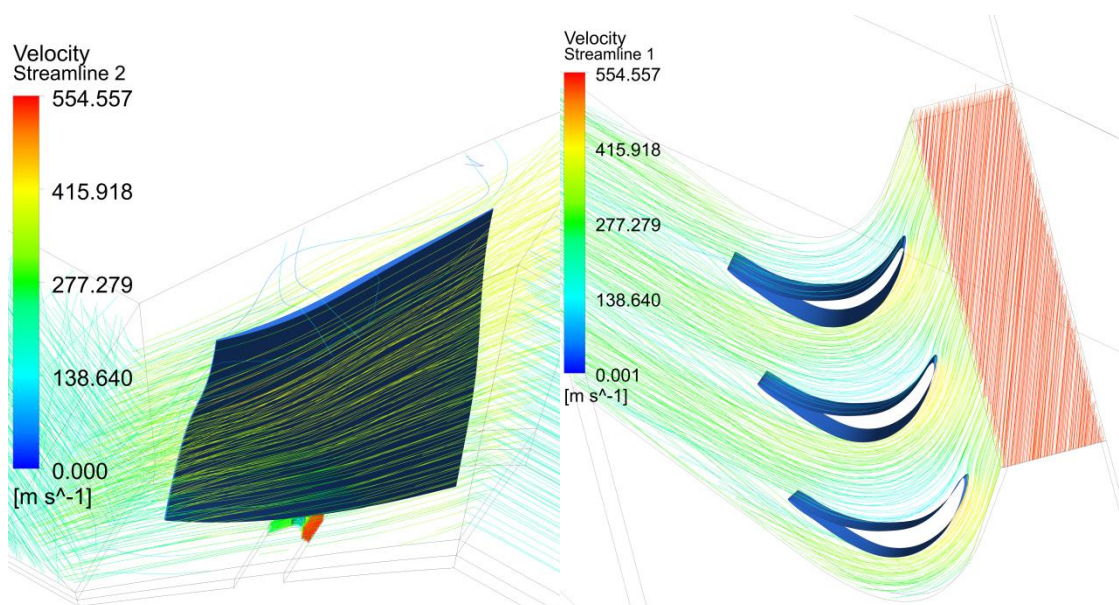


Рисунок 14. Розподіл ліній току в міжлопаткових каналах РК вентилятора та РК турбіни турбовентиляторної приставки

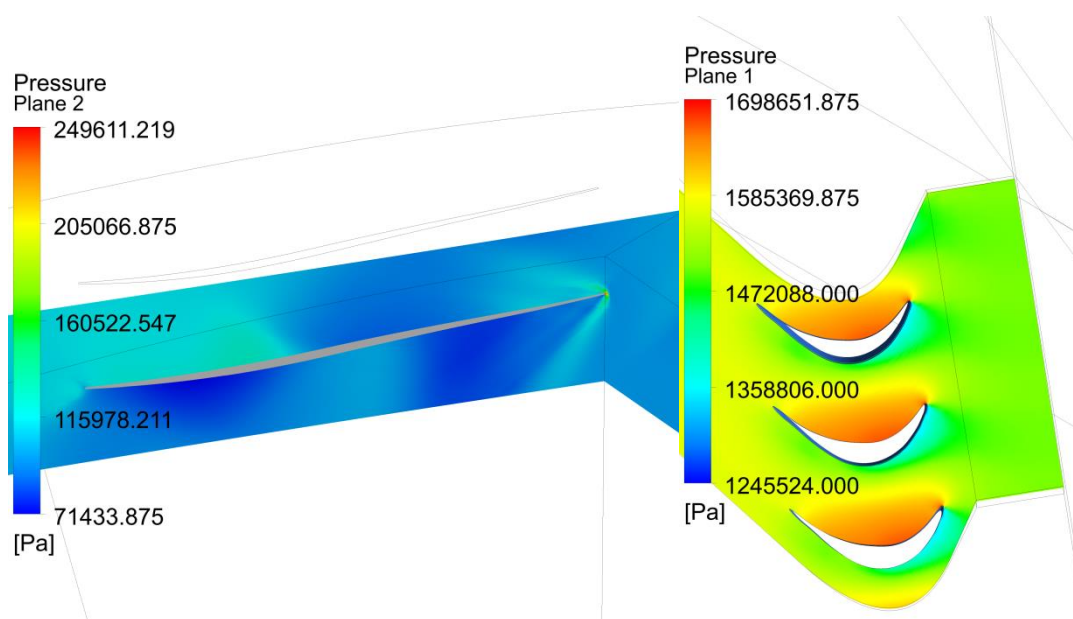


Рисунок 15. Розподіл тиску у верхньому перетині лопатки вентилятора та середньому перетині лопатки турбіни

Під час розрахунку для забезпечення рівності обертових моментів вентилятора та турбіни витрату повітря через сектор лопатки вентилятора було встановлено рівною 18,734 кг/с, що більше витрати повітря, яку було визначено з теоретичних розрахунків (становить 15,334 кг/с). Проте, якщо для бокових поверхонь в області Air out замість інтерфейсу періодичності вказати граничну

умову стінки (імітація спрямного апарату), обертові моменти приставки та турбіни співпадають і при теоретично визначеному значенні витрати 15,334 кг/с. Завищене значення витрати повітря у першому випадку обумовлене спрощеним завданням геометрії проточної частини другого контуру та відсутністю втрат енергії у спрямному апараті.

Додатково виконані розрахунки для визначення впливу теплового потоку від першого контуру на потік у другому контурі, для чого в граничних умовах областей Hot air in та Hot air out задавалась температура потоку 20 °С. Результати розрахунку представлені на рисунку 16.

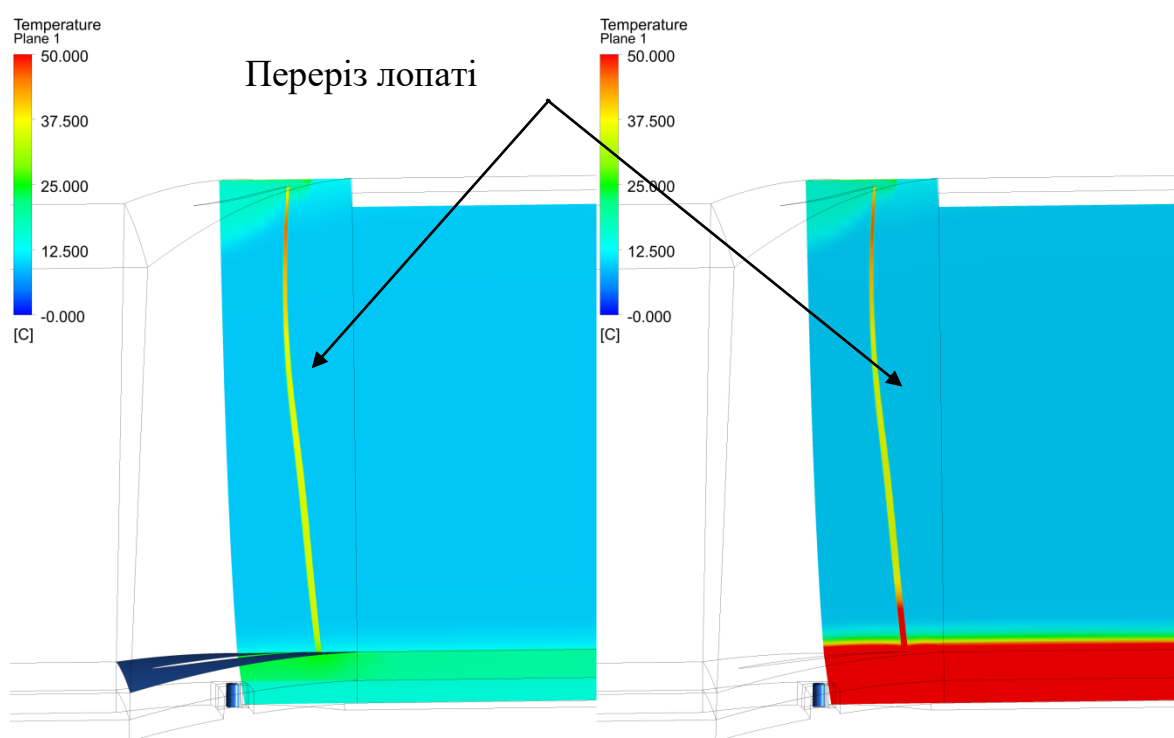


Рисунок 16. Розподіл температури при різних інтенсивностях теплообміну між 1-м та 2-м контурами

Аналіз результатів розподілу температури при різних інтенсивностях теплообміну між першим та другим контуром турбовентиляторної приставки показує, що тепловий потік гарячих газів турбінного контуру буде впливати на температуру потоку втулковій зоні вентиляторного контуру. Одним із наступних завдань є дослідження впливу потоку гарячих газів турбінного

контуру на зміну характеристики вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки двоконтурного двигуна.

Отже, розроблено термогазодинамічну модель турбінної і вентиляторної частини турбовентиляторної приставки газотурбінного двигуна, особливістю якої є висока температура перед турбіною – 1500К.

Розроблено геометричну модель турбовентиляторної приставки на основі результатів теоретичної термогазодинамічної моделі турбовентиляторної приставки. Турбовентиляторна приставка складається із одного ступеня вентилятора і 3 ступенів турбіни.

Представлено результати моделювання течії в турбовентиляторній приставці та оцінено вплив теплового потоку від турбінного контуру на вентиляторний контур турбовентиляторної приставки.

**SECTION 5. GENERAL AGRICULTURE**

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.5.1

**5.1 Change in the humus state of aluvisol due to implementation of sediment of sewage sludge under the energy willow**

In modern conditions, energy willow is considered as a promising crop for use in bioenergy, which serves as a reliable source of biomass and the formation of sustainable bioenergy phytocenoses.

As a rule, such phytocenoses are formed on marginal, degraded, low-value soils, which are characterized by a low level of effective fertility and are not occupied by food crops.

One of the ways to increase the bioproductivity of such soils is the introduction of sewage sludge, which is characterized by a high content of nutrients, in particular macro- and microelements, as well as organic matter, which participates in biogeochemical transformations and is a factor in increasing the energy status of the soil system.

The purpose of our research was to determine the degree of influence of the use of sewage sludge and composts based on it on the change in the content of humic compounds of the soil, introduced under the energy willow.

Before starting the field experiment, three types of compost were also produced:

1. Compost (SS + sawdust (3:1));
2. Compost (SS + straw (3:1));
3. Compost (SS + straw (3:1) + cement dust 10%).

The main agrochemical indicators were determined in each of the options of manufactured composts [323, 331 – 333].

Field studies to determine the agrochemical efficiency of sewage sludge for growing energy willow on the sod-podzolic soils of Precarpathia were carried out according to the following scheme:

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

1. Control – without fertilizers; 2. Mineral fertilizers -  $N_{100}P_{100}K_{100}$ ; 3. SS - 40 t/ha; 4. SS - 60 t/ha; 5. SS - 80 t/ha; 6. Compost (SS + sawdust (3:1)) – 60 t/ha; 7. Compost (SS + straw (3:1)) – 20 t/ha; 8. Compost (SS + straw (3:1)) – 40 t/ha; 9. Compost (SS + straw (3:1)) – 60 t/ha; 10. Compost (SS + straw (3:1) + cement dust 10%) – 40 t/ha. Planting scheme of energy willow – 0.33 x 0.70 m. Plot width 4.0 m; length – 7 m; area - 28 m<sup>2</sup>. Repetition - three times, placement of plots - systematic.

Energy willow (*Salix viminalis* L.) is one of the fastest-growing types of tree crops in terms of length (growth of shoots in one day can reach 3-5 cm) and vegetative mass. The willow bred selectively for energy purposes is planted with seedlings 20 – 25 cm long. Before planting, the seedlings were soaked in water for 24 – 48 hours, which contributed to temperature adaptation on the one hand, and on the other hand, the seedlings during this period accumulated such an amount of water that they were able to grow without watering after planting in the soil [333, 341 – 343].

Transplanting into the soil was carried out in early spring, immediately after frost. At this time, soil moisture is the highest. Seedlings were transplanted into the soil manually. The plot was plowed in advance and cleared of weeds. Fertilizers were applied according to the options according to the scheme of the experiment. Planting scheme – 33 cm x 70 cm. Seedlings were planted in such a way that two to three buds remained above ground level.

2-3 weeks after transplanting the plants into the soil, the first new shoots appeared. During the first year, careful care and protection against weeds was provided, since the willow is unable to develop a sufficiently powerful root system at the initial stages of organogenesis due to fast-growing weeds. In the first months, special attention was paid to the destruction of weeds, until the branches of the willow plants are covered by the weeds. In the first 3 – 4 months, weeds were destroyed by hand. Later, when the willow outgrew the weeds, the process of killing weeds was no longer a determining factor in care, and during dry periods weeding was not carried out, thereby preventing excessive drying of the soil.



## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

The work carried out in the first year in an appropriate manner to ensure the vital activity of plants determines the level of accumulation of vegetative mass in the following years. In the first year of planting, energy willow undergoes the formation and development of the root system. From one seedling, 2-5 branches with a length of about 2 – 4 m sprout. The length of the branches depends on the water regime and the level of mineral nutrition. From the economic point of view, the most suitable for use is the biomass of three to four or more years of energy willow. The three-year-old willow was cut by hand and weighed to analyze the productivity of the raw mass. After drying to a constant mass, the biomass of dry matter was determined and samples were taken for laboratory analysis.

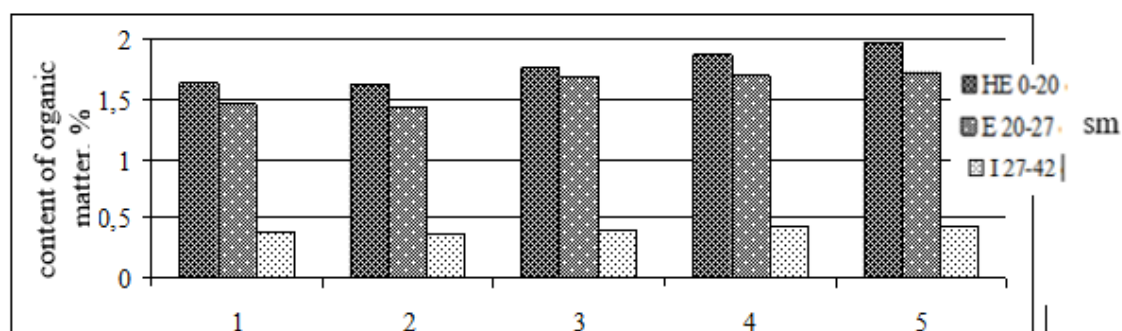
Sampling for agrochemical analyzes was carried out in accordance with DSTU 4287 [318, 322]. Determination of the humus content in the soil was carried out according to the Tyurin method according to DSTU 4289 [349, 353]; labile forms - after each crop rotation rotation according to DSTU 4732 [355, 361]. The fractional and group composition of humus was determined by the method of Ponomaryova – Plotnikova. [352, 360]. The selection of soil samples for physical and chemical analyzes was carried out in accordance with DSTU ISO 11464 [323, 327 – 331]. Determination of pH was carried out according to DSTU ISO 10390 [333, 335, 339], determination of hydrolytic acidity according to the Kappen method [347 – 350]. Processing and generalization of the research results was carried out using the methods of mathematical statistics with the help of the STATISTICA 6.0 and EXEL programs

Processing and generalization of the research results was carried out using the methods of mathematical statistics with the help of the STATISTICA 6.0 and EXEL programs.

Dynamics of the content of humic substances in the soil. The amount of organic matter in the soil determines the level of its fertility. All factors of soil fertility are closely related and interdependent. Physical properties, structure, thermal and water properties, porosity, biological activity, nutrient regime and absorption capacity of soils, etc. depend on the content of organic matter [338, 339, 362]. Measures to increase soil fertility and crop yields are closely related to the creation of a stable, deficit-free

balance of humus in the soil [327, 333, 337 – 341, 345, 355]. It has been proven that the fertilization of the soil by organic matter contributes to the activation of the processes of transformation of organic substances. It has been established that SS have a positive effect on the fixation of humic substances in podzolized chernozem, which is indicated by an increase in the content of the 1st and 2nd fractions of humic acids. After the introduction of SS, an increase in the content of total organic matter, as well as its labile and water-soluble forms, is noted [343].

In our research, the content of organic matter in the profile of sod-podzolic soil changed significantly under the influence of fertilizer application, including the application of SS (Fig. 1.1).



**Figure 1.** Dynamics of the content of organic matter in the profile of sod-podzolic soil under the influence of repeated application of sewage sludge (2016 - 2019):

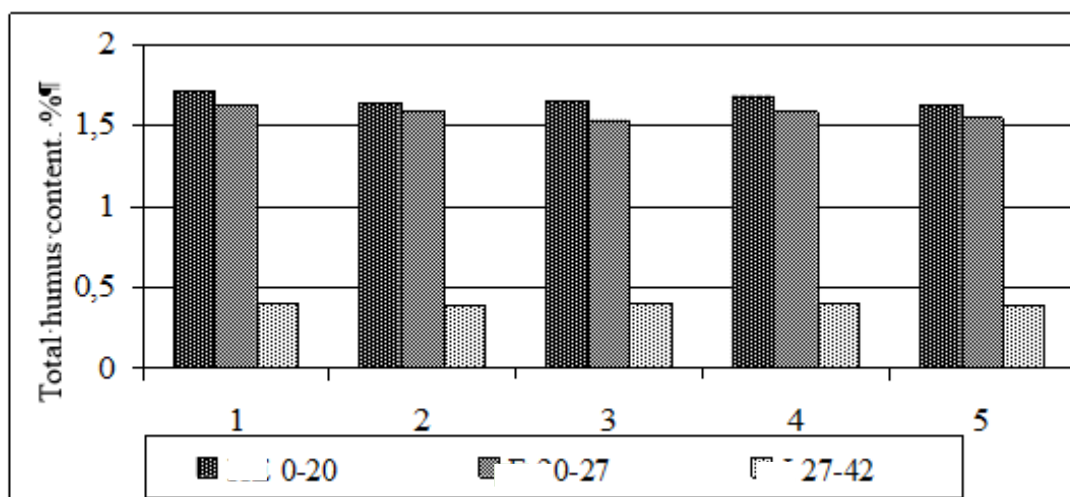
1. Control – without fertilizers; 2. Mineral fertilizers –  $N_{100}P_{100}K_{100}$ ; 3. SS – 40 t/ha; 4. SS – 60 t/ha; 5. SS – 80 t/ha.

In the control variant, the content of organic matter in the 0 – 20 cm soil layer was 1.64%. In the eluvial horizon, this indicator was 1.46%, and in the eluvial horizon at a depth of up to 42 cm – 0.38%. The application of mineral fertilizers contributed to a decrease in the content of humus in the humus-eluvial horizon by 0.02% compared to the option without the application of fertilizers. In the eluvial and illuvial horizons, the humus content was 1.44 and 0.37%, respectively.

The application of SS provided a significant increase in the content of humus in the humus-eluvial horizon. In particular, when it was applied at a dose of 40 t/ha, the

humus content was 1.76% in the upper humus-eluvial horizon and decreased with depth to 0.4% in the 27 – 42 cm layer. of humus at a depth of 0 – 20 cm was 1.88 – 1.97% and decreased to 0.43% with depth.

When applying 60 t/ha of compost based on SS and straw, the humus content was 1.70% in the upper humus-eluvial horizon of the sod-podzolic soil (Fig. 2).



**Figure 2.** Dynamics of humus content in the profile of sod-podzolic soil under the influence of repeated application of composts based on sewage sludge (2016 – 2019):

1. Control – without fertilizers; 2. Compost (SS + sawdust (3:1)) – 60 t/ha; 3. Compost (SS + straw (3:1)) – 20 t/ha; 4. Compost (SS + straw (3:1)) – 40 t/ha; 5. Compost (SS + straw (3:1)) – 60 t/ha

A decrease in humus content to 0.40% was observed in the illuvial horizon. However, this rate was higher compared to the control without fertilizers at the same depth. When applying compost based on SS and straw at a dose of 20 and 40 t/ha, respectively, the humus content decreased compared to the areas where fresh sediment was applied and fluctuated slightly within the range of 1.64–1.65% at a depth of 0–20 cm. application of compost based on SS and straw at a dose of 60 t/ha, the humus content decreased from 1.7 to 0.4% in the 0 – 42 cm layer. Humus content indicators in this variant increased due to the application of a larger dose of compost. With the introduction of compost with a mineral filler in option 10 (compost based on SS + straw (3:1) + cement dust 10% at a dose of 40 t/ha), the humus content decreased to 1.7% in

the humus-eluvial horizon, compared to the options , where fresh SS was introduced, and decreases down the profile to 0.4% in the illuvial horizon (Table 1.).

**Table 1.**

Dynamics of the content of labile and stable forms of humus during repeated application of sewage sludge at a depth of 0 – 20 cm (2016 – 2019), %

option	Humus is active	Humus is	General humus	Humus is active/
1. Control – without fertilizers	0,64	1,00	1,64	39
2. N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	0,63	1,02	1,65	38
3. SS – 40 t/ha	0,64	1,01	1,66	37
4. SS – 60 t/ha	0,65	1,05	1,70	38
5. SS – 80 t/ha	0,62	1,12	1,74	37
6. Compost (SS + sawdust (3:1)) – 60 t/ha	0,60	1,10	1,70	35
7. Compost (SS + straw (3:1)) – 20 t/ha	0,61	1,05	1,66	36
8. Compost (SS + straw (3:1)) – 40 t/ha	0,61	1,08	1,69	36
9. Compost (SS + straw (3:1)) – 60 t/ha	0,62	1,08	1,70	36
10. Compost (SS + straw (3:1) + cement dust 10%) – 40 t/ha.	0,61	1,01	1,67	36
Least Significant Difference 0,5	0,1	0,02		

Comparing the option where compost based on SS and straw (3:1) was applied at a dose of 40 t/ha and the same amount of compost only with the addition of 10% cement dust, the content of active humus remained at the level of 0.6%, but the content of cement dust contributed reduction of passive humus by 0.07%, respectively, and the content of total humus also decreases by 0.02% compared to the application of SS + straw - 40 t/ha.

Active humus is the nearest reserve of nutrient elements for plants, is a factor in the formation of agronomically valuable aggregates of the soil structure [321, 329 – 351, 362]. The results of determination of active (labile) humus showed that its content increased when SS was applied as a fertilizer. The highest indicators of the content of labile humus were observed in the variants where the highest doses of organic fertilizers were applied. It is worth noting that in almost all versions of the experiment, the content of labile humus in the upper layer ranged from 0.61 to 0.64%.

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

Passive or stable humus is a part of organic colloids of a humus nature that has undergone "aging" and is firmly held by physical and chemical forces on the surface of finely dispersed soil particles [317, 331]. In contrast to the indicators of the content of labile humus, the indicators of passive (stable) humus increased with the application of SS. When it is applied in a dose of 40 t/ha, the content of passive humus is 1.07%. As the dose increased, the content of passive humus also increased to 1.1% (Table 2).

Active humus is the nearest reserve of nutrient elements for plants, is a factor in the formation of agronomically valuable aggregates of the soil structure [321, 347]. The results of determination of active (labile) humus showed that its content increased when SS was applied as a fertilizer. The highest indicators of the content of labile humus were observed in the variants where the highest doses of organic fertilizers were applied. It is worth noting that in almost all versions of the experiment, the content of labile humus in the upper layer ranged from 0.61 to 0.64%.

Passive or stable humus is a part of organic colloids of a humus nature that has undergone "aging" and is firmly held by physical and chemical forces on the surface of finely dispersed soil particles [317, 321, 339 – 342]. In contrast to the indicators of the content of labile humus, the indicators of passive (stable) humus increased with the application of SS. When it is applied in a dose of 40 t/ha, the content of passive humus is 1.07%. As the dose increased, the content of passive humus also increased to 1.1% (Table 2).

**Table 2**

Dynamics of the content of labile and stable forms of humus during repeated application of sewage sludge at a depth of 20-40 cm (2016 – 2019), %

option	Humus is active	Humus is passive	General humus	Humus is active/ general humus
1. Control – without fertilizers	0,48	0,98	1,46	32
2. N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	0,45	1,00	1,45	31
3. SS – 40 t/ha	0,49	1,08	1,57	31
4. SS – 60 t/ha	0,51	1,12	1,63	31
5. SS – 80 t/ha	0,52	1,17	1,69	30

**Continuation of the Table 2**

6. Compost (SS + sawdust (3:1)) – 60 t/ha	0,51	1,18	1,69	30
7. Compost (SS + straw (3:1)) – 20 t/ha	0,55	1,06	1,61	31
8. Compost (SS + straw (3:1)) – 40 t/ha	0,53	1,17	1,70	30
9. Compost (SS + straw (3:1)) – 60 t/ha	0,52	1,18	1,70	30
10. Compost (SS + straw (3:1) + cement dust 10%) – 40 t/ha.	0,53	1,15	1,68	31
Least Significant Difference 0,5	0,02	0,01		

In particular, in the upper (0 – 20 cm) and lower (20 – 40 cm) layers of the soil, the proportion of stable humus in the control without fertilizers was 61-68%.

With the introduction of mineral fertilizers  $N_{100}P_{100}K_{100}$ , the proportion of stable humus increased by 1% in the upper and lower layers. The introduction of SS ensured a further increase in the share of stable humus to 68-70%.

The patterns of stabilization of the humus state of the soil can be described by the following linear regression equations (Fig. 3, Fig. 4):

– for a layer (0-20 cm) of soil:

$$y = 0,4 x + 61,4 (R^2 = 0,80), \quad (1)$$

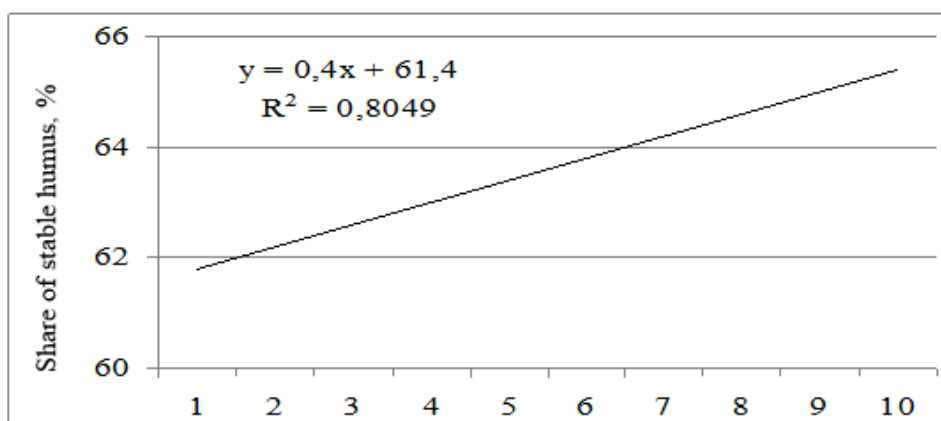
– for a layer (20 – 40 cm) of soil:

$$y = 0,2364 x + 68 (R^2 = 0,57); \quad (2)$$

where  $y$  is the share of stable humus in the total humus content, %;

$x$  – application dose of SS, t/ha.

The multiple coefficients of determination indicate a high level of closeness of the connection between the introduced SS and the growth of the share of stable humus in the soil. At the same time, despite the use of high doses of SS, the intensity of humus accumulation changed insignificantly [353].



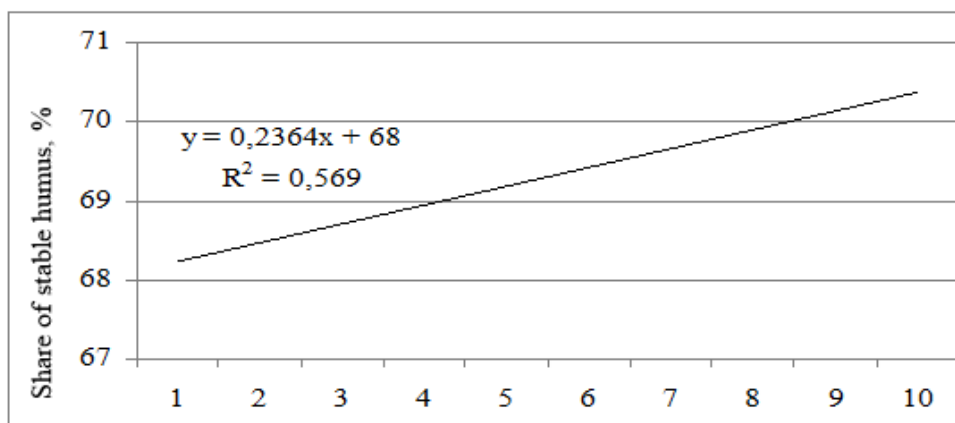
**Figure 3.** Change in the share of stable humus in the soil at a depth of 0 – 20 cm, depending on the dose of re-application of sewage sludge and composts based on it, 2016 – 2019:

1. Control – without fertilizers; 2. Mineral fertilizers -  $N_{100}P_{100}K_{100}$ ; 3. SS - 40 t/ha; 4. SS - 60 t/ha; 5. SS - 80 t/ha; 6. Compost (SS + sawdust (3:1)) – 60 t/ha; 7. Compost (SS + straw (3:1)) – 20 t/ha; 8. Compost (SS + straw (3:1)) – 40 t/ha; 9. Compost (SS + straw (3:1)) – 60 t/ha; 10. Compost (SS + straw (3:1) + cement dust 10%) – 40 t/ha.

Therefore, the content of active humus in the sod-podzolic soil decreased with the application of fresh SS, while the content of passive humus increased.

With the introduction of composts based on SS, the content of passive humus decreased compared to the options where fresh SS was applied, but remained higher compared to the control without fertilizers. The proportion of humic acids in the humus increases with the introduction of fresh SS.

Change in the fractional and group composition of humus due to the introduction of sewage sludge



**Figure 4.** Change in the share of stable humus in the soil at a depth of 20 – 40 cm, depending on the dose of re-application of sewage sludge and composts based on it, 2016 – 2019:

1. Control – without fertilizers; 2. Mineral fertilizers -  $N_{100}P_{100}K_{100}$ ; 3. SS - 40 t/ha; 4. SS - 60 t/ha; 5. SS - 80 t/ha; 6. Compost (SS + sawdust (3:1)) – 60 t/ha; 7. Compost (SS + straw (3:1)) – 20 t/ha; 8. Compost (SS + straw (3:1)) – 40 t/ha; 9. Compost (SS + straw (3:1)) – 60 t/ha; 10. Compost (SS + straw (3:1) + cement dust 10%) – 40 t/ha.

An analytical review of the literature on the influence of fertilizer on the fractional-group composition of humus indicates that the long-term use of manure and mineral fertilizers increases the content of humic and fulvic acid groups in the soil and reduces the content of unhydrolyzed residue compared to unfertilized areas [334, 335, 338, 368]. It is worth noting that in the scientific literature there are very few reports on the dynamics of the fractional-group composition of turf-podzolic soil under the influence of the introduction of SS [328, 367].

The sod-podzolic soil of the experimental site was marked by an increase in the humus content in the HE horizon from 1.66 to 1.74% (Table 3).

In the control without fertilizers, the content of humic acids was 0.22% or 17.0% of the total amount of organic carbon in the 0 – 20 cm layer. The use of a mineral fertilizer system increased the absolute value of humic acids to 0.24%.

However, relative to total organic carbon, the percentage was at the level of 19.5%. The content of the fraction of humic acids, which are bound to  $Ca^{2+}$ , was at the level of 0.11% of the total content of humus. With an increase in the dose of organic



fertilizers based on SS, their content increased. However, the highest percentage of 0.15% was noted for the application of SS at a dose of 80 t/ha. The content of fulvic acids in humus also depended on applied fertilizers. With the introduction of SS in a dose of 40 – 80 t/ha, the proportion of humic acids increased and the proportion of fulvic acids decreased.

Under the conditions of the experiment, the content of the insoluble residue in the humus changed significantly. In particular, in the control without fertilizers, it was 0.6%. Mineral organic fertilizers contributed to a gradual increase in the content of insoluble residue in humus from 0.8 – 0.9% of soil weight or 46.9 – 56.5% to total carbon. The content of insoluble residue increased in the variants where composts based on SS were used in the range of 0.7 – 0.8% by weight of the soil, or 48.4 - 59.7% by total organic carbon. The ratio of humic acids to fulvic acids shows the orientation of organic matter mineralization processes and serves as an indicator of the humic state of the soil [327]. Under the conditions of the experiment, the ratio of humic acids to fulvic acids in the upper (0 – 20 cm) layer of the soil varied within 0.6 – 0.9%.

Analyzing the data on the content of humus in the subsoil layer, it should be noted a similar trend that we established in the arable layer 0 – 20 cm, however, in the humus of the subsoil layer, the proportion of humic acids decreased and the proportion of fulvic acids increased (Table 4). The content of insoluble residue in the options where composts based on SS were used remained within 0.52 – 0.54% of the soil weight, or 53.2 – 55.0% of the total organic carbon. The content of insoluble humus residue compared to the upper layer was slightly higher, which indicates a certain stabilization of humus in the subsoil layer. However, this ratio remained the same for all options except the control one [329, 341 – 343].

**Table 3.** Fractional and group composition of soil humus in the 0-20 cm layer after repeated introduction of SS under energy willow, on average for 2016-2019, %

Option	General humus	C is organic	C is organic						Humic acids / Fulvic acids
			Soluble					Insoluble residue	
			In total	Humic acids			Fulvic acids		
				In total	bound with	Free and			
1. Control – without fertilizers	1,64	<u>1,16</u> 100	<u>0,56</u> 41,6	<u>0,22</u> 17,0	<u>0,12</u> 9,8	<u>0,10</u> 7,2	<u>0,34</u> 24,6	<u>0,60</u> 58,4	0,6
2. N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	1,65	<u>1,36</u> 100	<u>0,57</u> 53,1	<u>0,24</u> 19,5	<u>0,13</u> 10,6	<u>0,11</u> 8,9	<u>0,33</u> 33,6	<u>0,79</u> 46,9	0,7
3. SS – 40 t/ha	1,66	<u>1,33</u> 100	<u>0,55</u> 49,1	<u>0,25</u> 19,0	<u>0,13</u> 10,1	<u>0,12</u> 8,9	<u>0,30</u> 30,1	<u>0,78</u> 50,9	0,8
4. SS – 60 t/ha	1,70	<u>1,37</u> 100	<u>0,55</u> 52,3	<u>0,27</u> 18,9	<u>0,14</u> 10,2	<u>0,13</u> 8,7	<u>0,28</u> 33,4	<u>0,82</u> 47,7	0,8
5. SS – 80 t/ha	1,74	<u>1,54</u> 100	<u>0,58</u> 43,5	<u>0,31</u> 20,5	<u>0,16</u> 10,7	<u>0,15</u> 9,8	<u>0,27</u> 23,0	<u>0,87</u> 56,5	0,9
6. Compost (SS + sawdust (3:1)) – 60 t/ha	1,70	<u>1,34</u> 100	<u>0,54</u> 40,3	<u>0,25</u> 18,7	<u>0,14</u> 10,2	<u>0,11</u> 8,5	<u>0,29</u> 21,6	<u>0,79</u> 59,7	0,9
7. Compost (SS + straw (3:1)) – 20 t/ha	1,66	<u>1,25</u> 100	<u>0,53</u> 50,5	<u>0,25</u> 17,7	<u>0,14</u> 9,8	<u>0,11</u> 7,9	<u>0,28</u> 32,8	<u>0,72</u> 49,5	0,8
8. Compost (SS + straw (3:1)) – 40 t/ha	1,69	<u>1,30</u> 100	<u>0,54</u> 51,6	<u>0,28</u> 19,0	<u>0,16</u> 10,1	<u>0,12</u> 8,9	<u>0,26</u> 32,6	<u>0,76</u> 48,4	0,8
9. Compost (SS + straw (3:1)) – 60 t/ha	1,70	<u>1,35</u> 100	<u>0,55</u> 40,2	<u>0,30</u> 18,7	<u>0,17</u> 10,2	<u>0,13</u> 8,5	<u>0,25</u> 21,5	<u>0,80</u> 59,8	0,9
10. Compost (SS + straw (3:1) + cement dust 10%) – 40 t/ha.	1,67	<u>1,30</u> 100	<u>0,51</u> 41,0	<u>0,23</u> 18,2	<u>0,13</u> 10,1	<u>0,10</u> 8,1	<u>0,28</u> 22,8	<u>0,79</u> 59,0	0,9

**Note.** Above the line - % to the weight of the soil; under the line - % to the total organic carbon of the soil.

**Table 4.** Fractional and group composition of humus of tree-podzolic soil in a layer of 20-40 cm after repeated application of SS under energy willow, average for 2016-2019, %

Option	General humus	C is organic	C is organic						Insoluble residue	Humic acids / Fulvic acids / In total
			Soluble					Fulvic acids		
			In total	Humic acids			Connect ed with calcium			
				In total	with R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	bound and Free				
1. Control – without fertilizers	1,45	<u>1,02</u> 100	<u>0,42</u> 45,9	<u>0,09</u> 12,1	<u>0,08</u> 9,9	<u>0,01</u> 2,2	<u>0,33</u> 33,8	<u>0,60</u> 54,1	0,3	
2. N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	1,44	<u>1,11</u> 100	<u>0,48</u> 43,0	<u>0,14</u> 12,6	<u>0,11</u> 9,8	<u>0,03</u> 2,8	<u>0,34</u> 30,4	<u>0,63</u> 57,0	0,4	
3. SS – 40 t/ha	1,56	<u>1,04</u> 100	<u>0,45</u> 46,3	<u>0,12</u> 12,7	<u>0,10</u> 10,1	<u>0,02</u> 2,6	<u>0,34</u> 33,6	<u>0,58</u> 53,7	0,4	
4. SS – 60 t/ha	1,62	<u>1,07</u> 100	<u>0,46</u> 44,8	<u>0,13</u> 12,7	<u>0,10</u> 9,9	<u>0,03</u> 2,8	<u>0,33</u> 32,1	<u>0,61</u> 55,2	0,4	
5. SS – 80 t/ha	1,68	<u>1,10</u> 100	<u>0,49</u> 43,7	<u>0,15</u> 13,3	<u>0,11</u> 9,8	<u>0,04</u> 3,5	<u>0,32</u> 30,4	<u>0,63</u> 56,3	0,4	
6. Compost (SS + sawdust (3:1)) – 60 t/ha	1,68	<u>1,01</u> 100	<u>0,47</u> 46,8	<u>0,14</u> 13,4	<u>0,11</u> 10,6	<u>0,03</u> 2,8	<u>0,34</u> 33,4	<u>0,54</u> 53,2	0,4	
7. Compost (SS + straw (3:1)) – 20 t/ha	1,60	<u>0,99</u> 100	<u>0,46</u> 45,9	<u>0,12</u> 12,5	<u>0,10</u> 9,9	<u>0,02</u> 2,6	<u>0,35</u> 33,4	<u>0,52</u> 54,1	0,4	
8. Compost (SS + straw (3:1)) – 40 t/ha	1,69	<u>0,98</u> 100	<u>0,46</u> 46,1	<u>0,12</u> 12,7	<u>0,10</u> 10,1	<u>0,02</u> 2,6	<u>0,33</u> 33,4	<u>0,53</u> 53,9	0,4	
9. Compost (SS + straw (3:1)) – 60 t/ha	1,69	<u>1,02</u> 100	<u>0,48</u> 45,7	<u>0,14</u> 12,6	<u>0,11</u> 9,8	<u>0,03</u> 2,8	<u>0,34</u> 33,1	<u>0,54</u> 54,3	0,4	
10. Compost (SS + straw (3:1) + cement dust 10%) – 40 t/ha.	1,67	<u>1,00</u> 100	<u>0,46</u> 45,0	<u>0,13</u> 13,2	<u>0,11</u> 10,6	<u>0,02</u> 2,6	<u>0,33</u> 31,8	<u>0,54</u> 55,0	0,4	

**Note.** Above the line - % to the weight of the soil; under the line - % to the total organic carbon of the soil.

In general, indicators of the fractional-group composition of humus indicate that without fertilization, the humus condition of sod-podzolic soil deteriorates. Mineral fertilizers  $N_{100}P_{100}K_{100}$  partially stopped the degradation processes, but contributed to an increase in the proportion of fulvic acids in humus compared to the options where SS and composts were applied.

Under the conditions of the experiment, the use of SS and composts based on it ensured a qualitative improvement in the fractional-group composition of humus. With the application of SS 80 t/ha and compost – SS + sawdust (3 : 1) – 60 t/ha in the upper horizons of sod-podzolic soil, the content of total humus was 2.64 and 2.31%, respectively, which compared to the control without of fertilizers was higher by 0.8%. Change in the energy content of humus due to the introduction of sewage sludge

Issues of bioenergetics and energy of soil formation are gaining more and more relevance in our time, which is related to both general environmental problems and specific practical tasks of preserving and restoring soil fertility [327, 340]. In connection with this, there is a need for scientific substantiation of measures to strengthen the factor of attraction of organic matter into the soil through the introduction of organic matter. SS is characterized by a high content of organic matter and nutrients, a wide range of macro- and microelements, and its introduction into the soil helps to increase the content of humus [318 – 321, 344]. The energy capacity of soils depends on the content of humus and its calorific value, in addition, these indicators testify to the potential fertility of soils, since the productivity of soils is higher, the more energy they contain associated with humus [332 – 336].

Fractional-group distribution of energy makes it possible to determine the participation of each fraction of humic substances in the formation of the total energy capacity of the soil and to more deeply investigate the redistribution of energy resources of organic matter [317, 347]. The heat-generating capacity of organic matter is formed due to the fractional-group structure of humic substances. It is evidence of the quality of energy connections and biotic activity of the soil [362, 365].

When determining the energy state of the soil, the fractional-group composition of humus, the heat-generating capacity of humus, as well as its agrophysical state,

which changed under the influence of fertilizer, were taken into account [367]. In the calculation, the equation of O. Orlov [335] was used, which allows taking into account the qualitative composition of humus and the content of its main fractions. The calculations indicate significant differences in the indicators of the accumulation of energy reserves by soil humus under the influence of the use of SS as an organic fertilizer for energy willow (Table 5) [340 – 342, 351 – 353]. Under the influence of the mineral fertilizer system in the upper (0 – 20 cm) soil layer, the humus content did not increase, but the energy reserves in the humus in the upper and lower soil layers increased by 5.9 and 6.0 GJ/ha, respectively, compared to the control variant. The application of SS ensured the accumulation of humic compounds in the soil and the increase in the proportion of humic acids and non-hydrolyzed residues, which are characterized by the highest heat capacity, and this contributed to the growth of energy reserves in humus. With an increase in the proportion of SS, the energy content of humus increased, both in the arable and subsoil layers of the soil [346 – 349, 357 – 360]. Under the influence of fertilizer based on compost from SS + sawdust (3 : 1), an increase in energy reserves in humus was observed by 0.9 GJ/ha in the upper (0 – 20 cm) and by 0.7 GJ/ha in the lower (20 – 40 cm) in the soil layers compared to the control without fertilizers. With an increase in the dose of compost, the energy content of humus increased. The highest indicators of gross energy reserves were noted for SS at a dose of 80 t/ha and compost (SS + sawdust (3 : 1)) – 60 t/ha with the highest content of fresh SS. In these variants, the energy intensity indicator was at the level of 6.3 and 5.5 GJ/ha, respectively, in the upper and lower layers of the soil [343 – 345, 356 – 358]..

**Table 5**

The energy content of humus of sod-podzolic soil under different fertilizing systems of energy willow, average for 2016 – 2019, GJ/ha

1. Control – without fertilizers 2. N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	Heat-generating capacity of humus	Groups of humic substances			Energy reserves accumulated by humus
		∑ Humic acids	∑ Fulvic acids	huminy	
1. Control – without fertilizers	0,18 / 0,15	0,22 / 0,09	0,34 / 0,33	0,60 / 0,60	4,56 / 4,79
2. N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	0,22 / 0,17	0,24 / 0,14	0,33 / 0,34	0,79 / 0,63	5,92 / 5,98
3. SS – 40 t/ha	0,21 / 0,16	0,25 / 0,12	0,30 / 0,34	0,78 / 0,58	5,50 / 5,54
4. SS – 60 t/ha	0,22 / 0,16	0,27 / 0,13	0,28 / 0,33	0,82 / 0,61	5,82 / 5,87
5. SS – 80 t/ha	0,24 / 0,17	0,27 / 0,15	0,28 / 0,32	0,87 / 0,63	6,28 / 6,29
6. Compost (SS + sawdust (3:1)) – 60 t/ha	0,26 / 0,16	0,25 / 0,14	0,29 / 0,34	0,79 / 0,54	5,49 / 5,50
7. Compost (SS + straw (3:1)) – 20 t/ha	0,26 / 0,15	0,25 / 0,12	0,28 / 0,35	0,72 / 0,52	5,19 / 5,21
8. Compost (SS + straw (3:1)) – 40 t/ha	0,21 / 0,15	0,28 / 0,12	0,26 / 0,33	0,76 / 0,53	5,45 / 5,46
9. Compost (SS + straw (3:1)) – 60 t/ha	0,22 / 0,15	0,30 / 0,14	0,25 / 0,34	0,80 / 0,54	5,44 / 5,49
10. Compost (SS + straw (3:1) + cement dust 10%) – 40 t/ha.	0,21 / 0,15	0,23 / 0,13	0,28 / 0,33	0,79 / 0,54	5,32 / 5,36

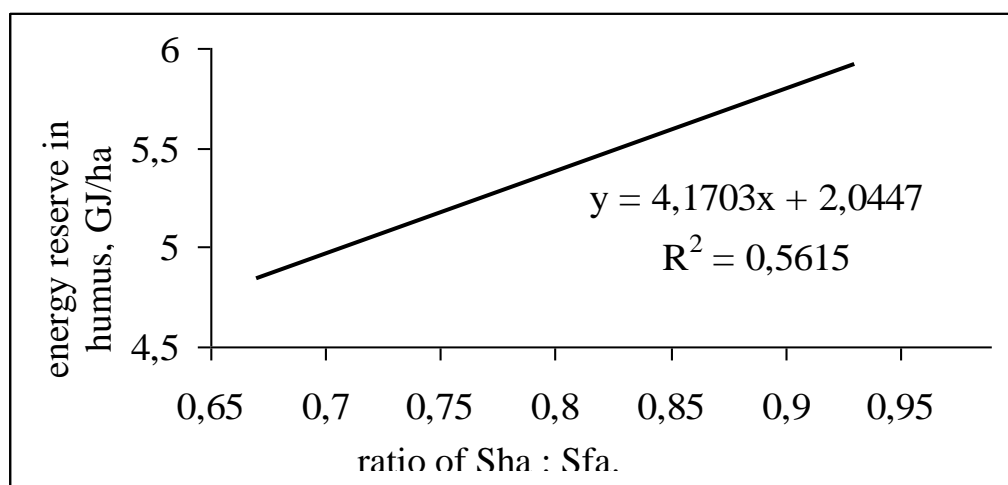
**Note.** Above the line - in the soil layer 0 – 20 cm; under the line - in a layer of 20 – 40 cm.

The dependence of energy reserves in the soil on the ratio of humic and fulvic acids in the 0 – 20 cm soil layer (Fig. 5) can be described by the linear regression equation:

$$y = 4.1703 x + 2.0447 \quad (3)$$

where  $y$  is the energy reserve in humus, GJ/ha;

$x$  is the ratio of Sha : Sfa.



**Figure 5.** Dependence of the content of energy reserves in humus in the 0 – 20 cm layer of sod-podzolic soil on the ratio of Sha : Sfa.

The multiple coefficient of determination ( $R^2 = 0.56$ ) reflects the significant dependence of the amount of accumulated energy in humus on the content of humic acids.

The dependence of energy reserves in the soil on the ratio of humic and fulvic acids in the 20 – 40 cm layer (Fig. 6) can be described by the following linear regression equation:

$$y = 13,223x + 0,1967, \quad (4)$$

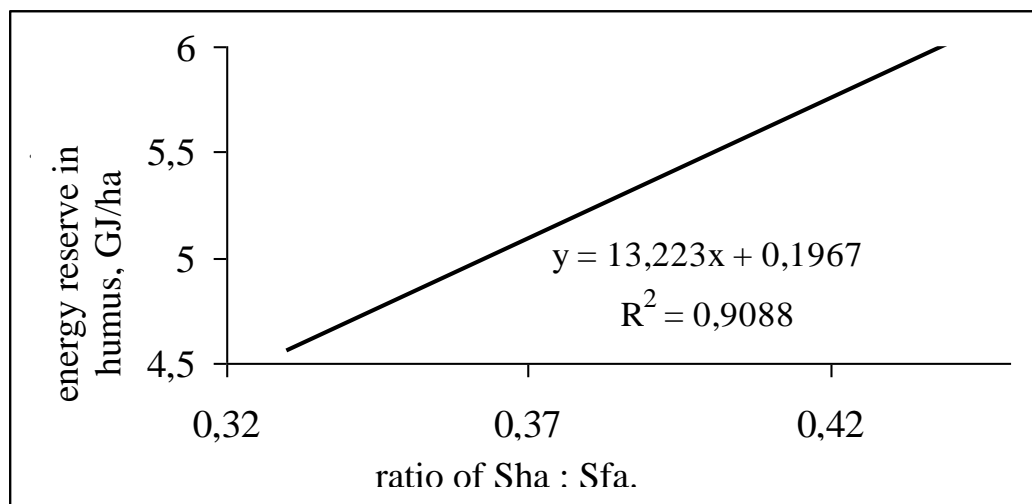
where  $y$  is the energy reserve in humus, GJ/ha;

$x$  is the ratio of Sha : Sfa.

In the lower layer (20 – 40 cm) of the soil horizon, the dependence of the amount of energy reserves in humus on the humic:fulvic acid ratio was much closer and the multiple coefficient of determination was  $R^2 = 0.91$ .

These researches make it possible not only to estimate the reserves of energy accumulated in the soil, but also reflect the ways of approaching the energy balance of

the energy willow agrocenosis, since the nature and intensity of the main processes are related to the reserves of assimilated solar energy, which is accumulated in the humus of the soil and serves as the main source for various biotic and mineral transformations [328 – 331, 365 – 368].



**Figure 6.** Dependence of the content of energy reserves in humus in a layer of 20-40 cm of sod-podzolic soil on the ratio of Sgk: Sfk.

Under the conditions of the experiment, the introduction of SS and composts based on it provide a qualitative improvement in the energy intensity of humus of sod-podzolic soil in the variants with the introduction of SS 80 t/ha and compost based on it with sawdust (3:1) at a dose of 60 t/ha. In the HE and E horizons, the energy content of humus is 6.3 and 5.5 GJ/ha, respectively, that is, by 0.9 – 1.7 GJ/ha, the similar indicators of the control variant prevailed [333, 361 – 363].

According to the results of the study of the features of the accumulation and transformation of humus compounds in the soil under the influence of the introduction of SS and composts based on it, the following basic patterns were established:

- with the introduction of SS, the content of total humus in the soil increases compared to the control without fertilizers. In particular, when it was applied at a dose of 40 t/ha, the humus content after the third year of vegetation of energy willow was 1.76% in the 0 – 20 cm layer and 0.40% in the 27 – 42 cm layer;

- with the introduction of 60 and 80 t/ha of SS, the humus content at a depth of 0-20 cm increases to 1.88 and 1.97% and decreases with depth to 0.43%. With the introduction of SS compost + sawdust (3:1) – 60 t/ha, the humus content is 1.70% in



the upper (0 – 20 cm) layer. The application of mineral fertilizers even contributes to the reduction of the content of humus in the humus-eluvial horizon by 0.02% compared to the option without the application of fertilizers. In the eluvial and illuvial horizons, the humus content in these variants is 1.44 and 0.37%, respectively;

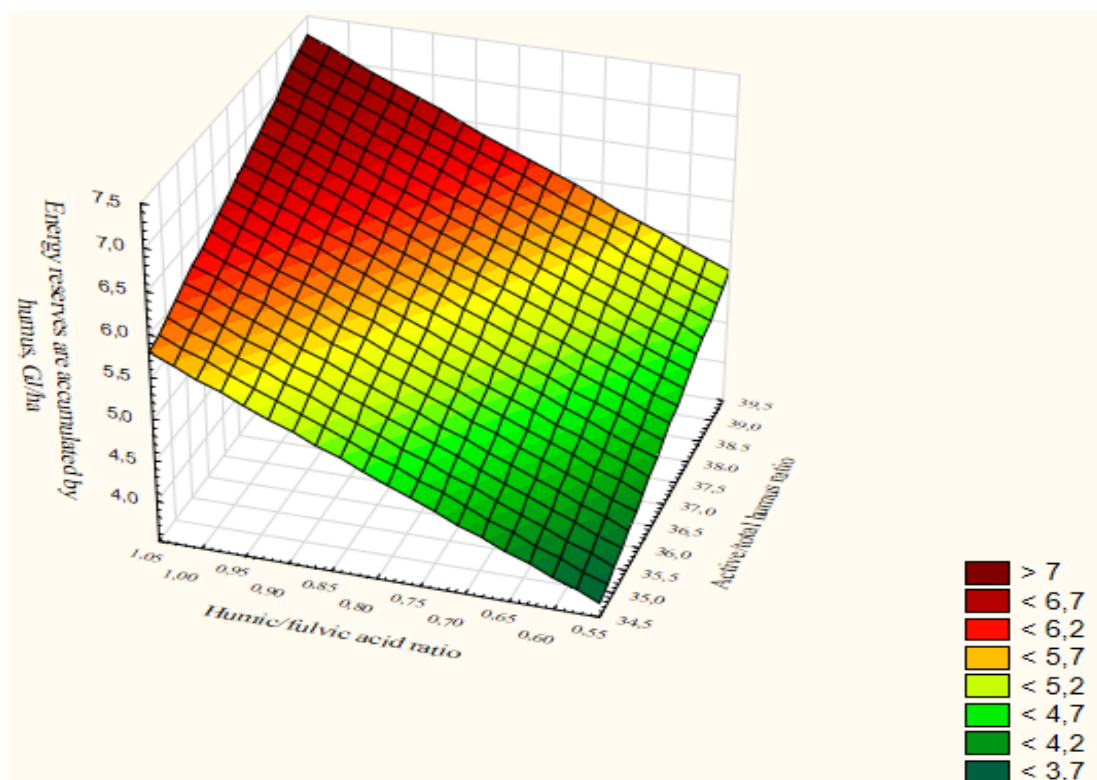
– the highest indicators of the content of active (labile) humus were observed in variants where the highest doses of organic fertilizers were applied. It is worth noting that in almost all variants of the experiment, the content of labile humus in the upper layer ranged from 0.61 to 0.64%;

- in contrast to the indicators of the content of labile humus, the indicators of passive (stable) humus increase with the application of SS. When it is applied in a dose of 40 t/ha, the content of passive humus is 1.07%. As the dose increases, the content of passive humus also increases to 1.1%;

- indicators of the fractional-group composition of humus indicate that without the application of fertilizers, the humus condition of sod-podzolic soil deteriorates, and the use of SS helps to increase the share of humic acids as the most valuable fraction of humus. The content of humic and fulvic acids in humus depends on the energy willow fertilization system. With the introduction of SS in a dose of 40 – 80 t/ha, the proportion of humic acids increases and the proportion of fulvic acids decreases. Mineral fertilizers partially stop the degradation processes of humus compounds, but worsen the quality of humus due to the increase in the proportion of fulvic acids in it, especially in the subsoil (20 – 40 cm) layer.

- the introduction of SS and composts based on them ensures an increase in the energy intensity indicators of humus of sod-podzolic soil. In the variants with introduction of SS at a dose of 80 t/ha and compost based on SS with sawdust (3:1) at a dose of 60 t/ha. Under such conditions, the energy intensity of humus is 6.3 and 5.5 GJ/ha, respectively, which is 1.7 – 0.9 GJ/ha higher than the similar indicators of the control option without fertilizers.

Multiple coefficient of determination ( $R^2= 0.73$ ), coefficient of linear correlation ( $r=85$ ) indicate a strong relationship between these indicators.



**Figure 7.** Dependence of the energy reserve value accumulated by humus.

from the active/total humus ratio indicator and the content of the humic acid/fulvic acid ratio indicator

For this dependence, the multiple regression equation can look like this:

where  $z$  is the energy reserve value accumulated by humus.

$$z = -8.8914 + 0.2958 * x + 4.2626 * y$$

$x$  is an indicator of the active/total humus ratio

$y$  is an indicator of the humic/fulvic acid ratio

Thus, the introduction of SS under the energy willow in fresh form and in the form of composts with various organic materials leads to significant changes in the humus state of Aluvisol, contributes to the growth of the share of passive humus and humic acids in humus, and leads to an increase in the energy content of humus.

**SECTION 6. INNOVATIVE TECHNOLOGIES**

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.6.1

**6.1 Innovative solutions to improve the consumer properties of cosmetics**

Among the most important problems that science and industry must address today, a special place is occupied by providing the population with high quality products with enhanced consumer properties.

An analysis of the range of skin disinfectants and cleansers offered to consumers shows that despite the positive dynamics, the list of products contains mostly low-priced goods with aromatic and cleansing properties, but with a low content of polyphenolic and biologically valuable substances, which generally does not meet modern ideas about the quality indicators of goods [369]. This is especially true for soap, as a product responsible for the purity and appearance of human skin. The way out in this situation for many companies was to expand the range of soaps with improved properties and develop new sub-segments.

Currently, the production of cosmetic hygiene products has moved to a new level of development. Along with well-known foreign manufacturers, Ukrainian hygiene cosmetics production lines have also emerged. Domestic companies recognized the importance of these products and began to produce new cosmetic series [370]. It is known that soaps not only help to cleanse the skin, but also give a beautiful appearance to the skin and confidence to a person, i.e. they have both hygienic, aesthetic and psychological value. Intensive and not always honest advertising often misleads consumers.

Today, there are many methods of soap production that can satisfy all the requirements of customers for a high-quality and safe product. There is also a variety of raw materials, additives, vitamins, flavors, dyes, natural materials and extracts that have begun to be used in the creation of soap. The range of soaps available on the Ukrainian market is very large, with different fillers. However, to enter a new round of competition, it is necessary to develop a new type of product that would be different

from competitors' products and to find a new market segment. To create soap with improved consumer properties, which has antioxidant and immune-stimulating effects, it is advisable to use vitamins A, B,  $\beta$ -carotene, and polyphenolic substances, which will increase the body's resistance to adverse factors.

The quality consumer properties of soap are laid down at different stages, from the idea of creation to packaging and labeling. The studied classification and characterization of consumer properties showed that soap is one of the groups of consumer goods that belongs to the category of "essentials" [371, 372]. It is noted that many types of soap with antibacterial properties are produced, but there is no soap with pronounced antioxidant properties.

It is established that modern production is aimed at quality, safety and, at the same time, price affordability of goods. It is pointed out that high cost of raw materials, the complicacy of the new technologies introduction often contribute to the violation of the balance of these indices toward deteriorating quality, but ensuring affordable prices for a product. The disadvantages of the known soap manufacturing technologies are the scarcity of raw material resources, the presence of alcohol in the composition that causes a drying effect on sensitive skin, does not provide a high degree of foam formation, and does not have the properties as to washing out intense dirtying from skin. Often, samples of soap, presented at the market, lose a high degree of detergent action in cool water; have insufficient cleansing of skin from keratinized keratolyzed epidermis. It is proved that it is reasonably required to search for additional raw material sources and to develop on this basis formulae of the soap that would have stable functional, technological and consumer properties under different conditions of use.

Therefore, it is important to improve the consumer properties of soap by introducing ingredients of natural origin that improve the quality and positive effects on human skin. After all, the use of low-quality raw materials and non-compliance with manufacturing technology can lead to the creation of products that can cause significant harm to consumers.

The research is aimed at enrichment of solid soap by introducing oil extracts of

plant materials and quality assessment. To achieve this goal and obtain scientifically based results, the following tasks were solved: an analytical review of market development and improvement of consumer properties of soap was carried out; a new soap with specified consumer properties was developed and proposed; quality (organoleptic and physicochemical parameters) of the developed soap samples was studied.

Based on the studied theoretical material and patent data, we chose the direction of work, which is to improve the antioxidant and antibacterial properties of solid soap.

The objects of the study were developed soap samples, rosehip oil extract, and nettle oil extract.

The examination of the organoleptic and physicochemical characteristics of the soap was carried out by standard methods in accordance with current regulations. Measurement of the solidification temperature of fatty acids isolated from soap was performed using a Zhukov device; measurement of the primary volume of foam was performed using the RSRIF method. Determination of antioxidant activity was performed according to an improved method based on coulometric bromine titration of the test sample [373]. Skin testing was performed visually and by subjective sensations of the test sample after repeated application to the skin. Attention was paid to dryness, firmness and gloss (for facial skin), peeling and irritation.

In the course of solving the tasks set, in particular, increasing the antioxidant and antibacterial properties, the expediency of enriching the soap with plant components was established. By analyzing the pharmacological properties and chemical composition [374] and taking into account the distribution and ease of growing plants in our region, nettle and rosehip in the form of a mixture of oil extracts were selected for research.

It is known that nettle is a major plant in terms of its chemical composition. Young nettle leaves are a kind of natural concentrator of vitamins, primarily ascorbic acid, carotenoids ( $\beta$ -carotene, xanthophylls, violaxanthin) K1 (0.2%), B2, pantothenic acid (B3) [375]. At the same time, nettle contains some biogenic amines and tannins, phytoncides, chlorophyll, flavonoids and quercetin glucosides, which have antioxidant

effects. It has been noted that nettle proteins contain 9 out of 10 essential amino acids, which, in combination with minerals and vitamins, allows you to maintain high performance, quickly recover after hard work, fatigue or illness.

A significant amount of substances is also preserved in extracts and dried nettle leaves. Stinging nettle extract has a regenerating, tonic, stimulating, anti-inflammatory, and wound healing effect. In addition, literature studies show that almost all substances with antioxidant, healing, and therapeutic and prophylactic effects are transferred to extracts [376].

Thus, the introduction of the oil extract of nettle will give the soap properties that will have a beneficial effect on the skin, enhance metabolism, improve tone, and allow to obtain soap with antioxidant, tonic, and regenerating effects.

The chemical composition and properties of rose hips were analyzed. It was found that they contain a whole range of vitamins and minerals necessary for humans. Rose hips have the highest concentration of vitamin C (up to 4100 mg/100 g). In addition, rose hips contain up to 1200 mg/100 g of bioflavonoids, 42 mg/100 g of carotene, 200...1500 mg/100 g of P-active substances, 13...19 % of water-soluble substances, 2...3 % of tannins, up to 4 % of pectins and up to 4 % of organic acids (citric, malic, etc.), vitamins B1, B2, B9, K1, E, A, sugars, nitrogen-containing substances and cellulose, as well as tannins and phytoncides. Rose hips contain flavonoids (quercetin, kaempferol, isoquercetin, tilirozide), catechins (epigallocatechin, galocatechin, epigallocatechin gallate and epicatechin gallate) and minerals (iron, potassium and calcium salts, manganese, phosphates). Rosehip seeds contain fats with health-promoting properties, which include unsaturated fatty acids and aromatic essential oils. These substances determine the antioxidant properties of rose hips [377, 378].

Rosehip extracts enhance tissue regeneration, hormone synthesis, have a beneficial effect on carbohydrate metabolism and vascular wall permeability, provide double skin protection against the damaging effects of UV rays and free radicals; increase skin immunity, slow down the aging process; prevent the appearance of age spots, have a whitening effect; protect soap from spoilage [379].

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

The conducted studies suggest that the effect of a mixture of rosehip and nettle oil extracts on a product such as solid soap will be quite significant and can be considered as a source of components valuable for the skin, a metabolic stimulator, and a carrier of antioxidant substances.

For further research, it is necessary to choose a rational ratio of components to obtain a product with specified characteristics that would meet the requirements of regulatory documents.

By optimizing the formulation composition of the soap, the amount of the introduced mixture of rosehip and nettle oil extracts was set at 20%.

To establish the rational ratio of rosehip and nettle oil extracts in the mixture, the following model samples were made:

- sample No. 1 - soap base + 5 % rosehip oil extract + 15 % nettle oil extract;
- sample No. 2 - soap base + 10% rosehip oil extract + 10% nettle oil extract;
- sample No. 3 - soap base + 15% rosehip oil extract + 5% nettle oil extract.

The organoleptic evaluation of the developed model samples was carried out according to the method of Tilghner D.E. in our own modification. The scale of organoleptic evaluation of the developed samples, taking into account the weighting factor, is given in Table 1.

Table 1.

Scale of organoleptic evaluation of the developed samples

Number of points	Organoleptic quality indicators				
	Visual appearance	Smell	Consistency	Color	Shape
1	2	3	4	5	6
5,0	In the section, it is homogeneous, without cracks on the surface, the cut is even	Light smell of fresh grass, clean, without off-flavors	Solid, dry to the touch	Matte with a green tint	Square with rounded corners

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

Continuation of the table 1

4,0	In the section, it is homogeneous, without cracks on the surface, the cut is even	A pronounced smell of fresh grass, clean, without off-flavors	Solid, dry to the touch	Matte, with a slightly greenish tint	Square with rounded corners
3,0	In the section, it is homogeneous, but voids are noticeable on the cut, no cracks on the surface, the cut is even	Intense smell of fresh grass, clean, without off-flavors	Solid, dry to the touch	Matte, with a rich green tint	Square with rounded corners
2,0	In the section, it is homogeneous, but voids are noticeable on the cut, with cracks on the surface, the cut is even	Smell of soap base, almost imperceptible smell of impurities	Not solid enough, dry to the touch	Matte, without tint	The mold does not hold
Weighting coefficient	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0

During the examination, it was found that in terms of organoleptic and physicochemical parameters, all the experimental model samples have values that do not contradict the requirements of regulatory documents for this product, as shown in Table 2.



Table 2.

Study of the quality of the developed soap samples

Indicator	Model soap samples		
	Model № 1	Model № 2	Model № 3
1	2	3	4
<i>Characteristics of organoleptic quality indicators</i>			
Visual appearance	In the section, it is homogeneous, without cracks on the surface, the cut is even	In the section, it is homogeneous, without cracks on the surface, the cut is even	In the section, it is homogeneous, without cracks on the surface, the cut is even
Smell	A pronounced smell of fresh grass, clean, without off-flavors	Light smell of fresh grass, clean, without off-flavors	Light smell of fresh grass, clean, without off-flavors
Consistency	Not solid enough, dry to the touch	Solid, dry to the touch	Solid, dry to the touch
Color	Matte with a green tint	Matte with a green tint	Matte, with a slightly greenish tint
Shape	Square with rounded corners	Square with rounded corners	Square with rounded corners
Organoleptic assessment, points	24	25	24,5
Testing on the skin (repeat 20 times)	The skin condition after application is satisfactory, it feels pleasant, smooth, lightly moisturized, and a barely perceptible smell of the introduced additives remains on the skin of the hands and face. No sensations of dryness, tightness, gloss, peeling or irritation of the skin were detected		

Continuation of the table 2

<i>Characteristics of physical and chemical quality indicators</i>				
Quality number, %.		79	82	85
Mass fraction of soda products in terms of Na <sub>2</sub> O, %.		0,10	0,10	0,11
Freezing point of fatty acids, °C		35	37	38
Mass fraction of sodium chloride, %.		0,45	0,45	0,48
Primary foam volume, cm <sup>3</sup>		365	370	372
Antioxidant activity (AOA), Cl/100g (n = 3, P = 0.95)		80	130	160
Antibacterial activity, titer of viable Escherichia coli cells (V15), kl/ml 107	k	2,45	2,47	2,52
	f	1,35	1,49	1,64

As can be seen from Table 2, of all the experimental model samples, sample No. 2 (soap base + 10 % rosehip oil extract + 10 % nettle oil extract) scored the highest

number of points (25 points). Also, sample No. 2 had optimal values in terms of primary foam volume and fatty acid pour point. The antioxidant activity was higher in sample No. 1, but this sample did not meet the standard for the fatty acid pour point.

Thus, from the developed model samples of solid soap, a sample (soap base + 10 % rosehip oil extract + 10 % nettle oil extract) with the best consumer properties was selected by quality assessment, which can be recommended as a solid soap with increased antioxidant and antibacterial properties.

The next step was to conduct a study to determine the shelf life of the developed soap with oil extracts of nettle and rose hips. The test conditions were 0 °C, 10 °C, 20 °C, 25 °C and 75% humidity, which is recommended by regulatory documents. Studies have shown that during storage at 25 °C, a softening of the consistency and a feeling of oiliness on the surface were observed after a month. Based on this, 0...20 °C was chosen as a rational storage temperature. Under these conditions, after 12 months, the quality of the developed soap remained unchanged, with a loss of moisture accompanied by a surface extension with the appearance of a barely noticeable surface delamination.

Thus, by introducing a mixture of rosehip and nettle oil extracts, a new type of solid soap was developed that improves the antioxidant, antibacterial properties and stability of soap during storage.

## 6.2 Artificial intelligence techniques and data fuser in UAS swarms

### Abstract

This paper depicts the progress of an appliance of Artificial Intelligence (AI) for Unmanned Aerial System (UAS) swarms' control. This job was done as part of the conditions for lectures and labs in AI at the School of Robotics, and a beginning project platform for research projects at Xi'an Jiaotong-Liverpool University for a flexible, healthy, and intelligent unmanned aerial vehicles (UAV) mission control system. A method is outlined which allows a base level application for applying an artificial intelligence method, fuzzy logic, to aspects of control logic for UAVs swarms' flight. The benefits of using fuzzy logic for a movement planner were shown in this research: a small number of failures, near-optimal pathways, and low control attempts. It is these benefits that make it a nice tool for additional improvement. Some elements of UAV flight, automated direction, altitude is held, and prevention of dynamic obstacles, have been implemented and results analysis displayed. Certain potential clear future works that were not investigated in this study are motion-planning in three dimensions, prevention of dynamic obstacles, and more robust analysis.

Current UAS, which are mostly established on wired links, are intricate, complex to road, heavy and more susceptible to damage as they should be. In this case the most existing and perspective UAS structures and their subsystems require periodic and scheduled inspection and maintenance functions. Hence, structural examining is vital, and it has a gigantic capacity to reduce the costs related to these processes. In this case the Kalman filter method is extremely helpful in the kinematic fusion procedure. Through extremely dynamic drone systems continuous in time, the Kalman method is mainly applied.

In this part of paper, the author studies the notion of integrating the magnitude into the data-fusion, as update as filtering procedure and find a developed and superior evaluation of the state. Accordingly, data updates and state-propagation algorithms were used. Due to traditional inference methods for decision making or fusion, it does

not sustain the practice of priori data regarding the possibility of a planned assumption, however, it was found that a priori chance is considered in the Bayesian inference method. As a result, fusion sensitivity could indicate as inner explanation of the exterior nature across the UAS.

MATLAB simulation of a designed derivative-free Kalman filters for fusion shows that it could be the most important cause for its realization appealing state-space design and a prediction.

**Keywords:** Artificial Intelligence (AI); Unmanned Aerial System (UAS); Unmanned Aerial Vehicle (UAV); Fuzzy Logic; controller; inaccuracy; structure; fusion; filter.

### 6.2.1 Introduction

Unmanned Aerial Systems (UAS), additionally stated to as drones or unmanned aerial vehicles (UAVs), carry out an extensive not only archeological, urban, environmental, and agricultural monitoring, military application that also reveals their potential in supporting warfare efforts [380]. UAS consists of aircraft components, sensor payloads, and a ground control base. Later, operated by operator in adding up to a committed human “pilot” (supplemented in some situations by another “spotter” to confirm safety), differs commonly in its structure depending on the base and mission. Faithful control systems may be committed to large UAVs and installed onboard vehicles or in automobile trailers to allow proximity to UAVs restricted by variety or transfer abilities. The smallest categories of UAVs are often escorted by ground-control places consisting of laptops and other components small enough to be carried easily with the aircraft in small vehicles, or in backpacks.

In recent years, the use of UAVs that can run flight routes independently and develop geo-referenced sensor data has grown dramatically for environmental and wildlife monitoring purposes [381]. Certain questions confining the broader use of UAVs for environment management and exploration involve UAV regulations, effective costs, and public insight. One of the most crucial limitations, nevertheless, is

the demand to create or apply improved computerized image detection algorithms created for this mission.

Last decade universities in many countries all over the world keep on to study UAS and continue to involve the applications for artificial intelligence and traditional control methods, which still guide as military as civil aircrafts [382].

Current study efforts are looking at developing the UAS to full up self-governing mission. Even though there appear to be several descriptions of what the autonomy includes, each discipline has emphasized its sense and gains. Some publications, like [383] talk about a good summary of the problems engaged in achieving control of the development methods now. Authors are outlining the heterogeneous modelling and design of an advanced control system approach. One of the key questions faced is the fact that the systems and sensors concerned are heterogeneous in nature. These systems must be integrated and determined into an operating system. For the greatest part, this will be correct for the most complicated UAV systems, which effort full autonomy [382].

### **6.2.2 Background**

Innovative purposes of artificial intelligence (AI), which consist of intelligent agents, are offering new fields of study [384]. Numerous investigations have increased throughout the last decade within the applications of AI techniques put on to the ideas of exploring for the UAS. So often modern UAS can be defined as any platform that is operated without humans onboard. UAS, which exists today, involves quadrotors, helicopters, airplanes, balloons, and sometimes satellites. Their independence differs from human interface and a remote console to fully autonomous take-off and landing.

Prior investigation, performed in Ref. [385], applied AI techniques such as expert systems and schedulers, which used rule-based systems. These systems tried to create the art of flying an aircraft into a rational sequence of actions to maintain control of specific functions of the aircraft. This idea will still be a vital element with systems designed for future purposes.

The primary idea of employing an expert system to control an aircraft looks straightforward at first but shows how hard it is to use. Certain problems that still happen today contain the fact that an expert pilot's decision-making procedure is tricky to imitate with laptops. The dynamic nature and dynamic circumstances influencing aircraft or drones are fields that must be fitted to such an expert system.

Next study attempts started to separate the many tasks engaged in the UAV flight control into adaptable stages. Focused attempts of using logic methods related to fuzzy logic and neural networks, are being used to enhance the mathematical results for flight control. Dr. Anthony J. Calise from Georgia Tech (USA) in Ref. [386] said that "several areas of control for UAV's can be adapted to the use of neural networks". The writer provides some descriptions of the advantages of employing neural networks in addition to the UAS typical control methods because of the integration of these systems.

### **6.2.3 Problem Statement**

Last investigation attempts are being made to contain an integration of more AI techniques. These recent research projects are the curious innovations taking place. How does a robot fly an aircraft like a human can? What does a human guess about in the practice of responding to the environment? Can a system "think" sufficient to fly a UAV fully autonomously? These are problems forcing UAS to examine.

Investigation of the uses of AI comes to a place where the methodologies, algorithms and models need to be used for additional interpretation of their usefulness and pertinency to any certain project for a UAS [387], [388]. Most of the investigation papers reviewed gave excellent theory but did not give adequate evidence on the mechanics or measures for employing the techniques drawn up to set up a research endeavor.

The aim of this study has been to draw some of the AI methods applied for UAV flight control and examine several of the instruments used to apply AI methods. The aim is to achieve with the application of employing AI methods for really managing

various characteristics of UAV flight. These kits and procedures provide as the project's essential turn.

### **6.2.3.1 Artificial Intelligence of Things**

Artificial Intelligence of Things (AIoT) is the mixture of AI and IoT (Internet of Things) [389]. AI has constantly relied on large data sets to build effective algorithms. IoT might consume alive data to AI to create further intricate algorithms and use “sense” to real-time data. AI could be used to convert IoT data into valuable knowledge for enhanced decision-making procedures. Significance, AIoT is equally valuable for both tools.

Throughout a mission, if a drone operates machine learning processes to all the data gathered by its various sensors, it might make moment-to-moment judgments around how to react to its situation. For example, in reply to wildfire, drones could be forwarded to give up fire retardant. Centered on the situations and datasets trapped by their IoT-enabled sensors, they might decide separately on the greatest place to drop the material. These terms would involve the wind direction and speed; existing temperature; and the percentage of fire enclosed [390].

Merging the information from the UAV sensors and the data point from the IoT, UAS could obtain useful situational understanding for autonomous decision making. A potential development of a UAS missions could include UAVs that find out of houses, verify how many people are in a relatively failed construction, and with other records inputs, such as data from social media, construction types, and well-being data on inhabitants, the UAV could assess if a trapped individual is like diabetic and needs insulin or so [389].

### **6.2.3.2 UAVs Swarm**

The highly advanced utilizes of AI in UAS missions to-date are in the uploading and treating of taken pictures in the cloud after the mission. Thanks to enhancing



communication technology and small-scale supercomputers, UAVs can now handle and deliver only appropriate data to the cloud. The following stage of UAS application that specialists predict is a swarm around 100 or even much more of intelligent UAVs that work simultaneously, communicate with each other, and use AI to get real-time decisions at the same time.

Generally, there are two main elements for UAVs swarm to use: communication amongst its representatives and AI. Being able to connect with the other UAS creates a feedback system that is intended for band support. AI facilitates each UAV to fly on its own and to play a role in its environment, as well as the swarm, through pre-programmed options or choices created by AI.

The major question for an efficient application of swarm UAVs is networking the devices to guarantee that they are informed of their environment and have got the capacity to implement a particular mission profile [389]. Synchronized evaluation is vital to efficiently swarm UAVs missions. It means to the outcome of UAS to go through with an environment as one in sort to effectively deal with that environment. Each UAV employed determines where to go based on its environments, they communicate at standard periods to distribute information on their world and get to additional conclusions concerning their managed investigation centered on a group pattern.

Due to engineering developments in data transmission expertise and in onboard supercomputer capacity, the use of swarm UASs is technologically reasonable. To date they have primarily applied to perform regular duties for entertainment functions such as mentioned at Ref. [391] at the 2017 Super Bowl halftime show, where Intel flew hundreds of drones.

Synchronized UAS mission could be employed to get significantly more situational perception. For example, first respondents could release a rescue raid of hundreds of UAVs to search for a destroyed region, draw it, and use AI to recognize prospective targets in a brief quantity of time.

Even though these kinds of processes remained respected science fiction in the past, numerous effective strategies show that they are scientifically and engineering

achievable. Nevertheless, such tasks can only be tested on a bigger level when policies are set [389].

#### **6.2.4 AI Approach**

There is an expansion in study and articles on achievements and suggested exploring below the issue of UAS. The area was pointed along to consist of AI techniques that could be used easily in a lab setting [382].

Throughout the achievement of the stages in Figure 1, the subsequent design was done. The choice to use Python programming occurred due to a condition for the AI group. By the way, this programming language turns out to be extremely valuable for this type of project. The subsequent synopsis is given for the common methodology:

1. The initial attempt to solve the problem was to examine the past and current endeavors of UAS flight control. This study was performed by literature analysis.
2. Investigation was made as soon as separating the option for elevator control to keep cruise altitude. An effort was made to get a fuzzy logic program or applet written in Python.
3. The methodology for the problem was to learn basic Python programming techniques for doing virtual UAV flight files, transforming these files if needed, and running or modifying a fuzzy logic application.

The methodologies realized in most of the inquiry included expert systems, neural networks, fuzzy logic, and hybrid patterns of these and PID control systems. The AI methods preferred for use were fuzzy logic, expert system, and later a sequence of neural / fuzzy for adaptive capability.

The first AI method used during the problem was fuzzy logic. This procedure was applied to control the altitude carry of a modeled UAS. Two products were executed. The first result concerned writing Python code to imitate a flight by means of calibrated steps of altitude climbs. The second purpose concerned learning a demo copy of a commercial software for creating a fuzzy control system (FuzzyTech 5.x).

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

The output data after the first treatment was applied for input into the demo program. The output data file from FuzzyTech was brought into an Excel spread sheet for evaluation next to the input data.

An experimental model was needed to accept a confined application of a simple fuzzy control system. The desired altitude hold was applied with an additional input for acceleration control. The acceleration control occurred for upcoming work including degrees of power required during different mission scenarios (take-off, level flight, disturbed flight, and approach).

Fuzzy logic controllers have been very effectively employed in numerous engineering products over the past few years. But this sort of control system is not extensively established between control experts [392].

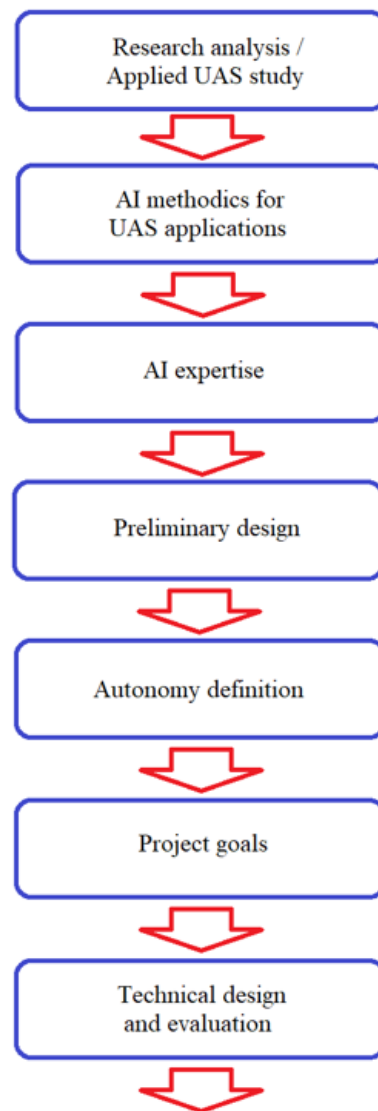


Figure 1. Design Approach.

### 6.2.4.1 Fuzzy Logic Technique

Currently, numerous defense organizations and police forces are employing drones and different types of unmanned vehicles in fuzzy logic like the human being's thinking and interpretation process. Contrasting conventional control approach, which is usually point-to-point control, fuzzy control is a range-to-range control. Technically, the input and outputs of the controller are the same as the traditional methods, so the input is the error in the controlled variable, and the output is the control amount.

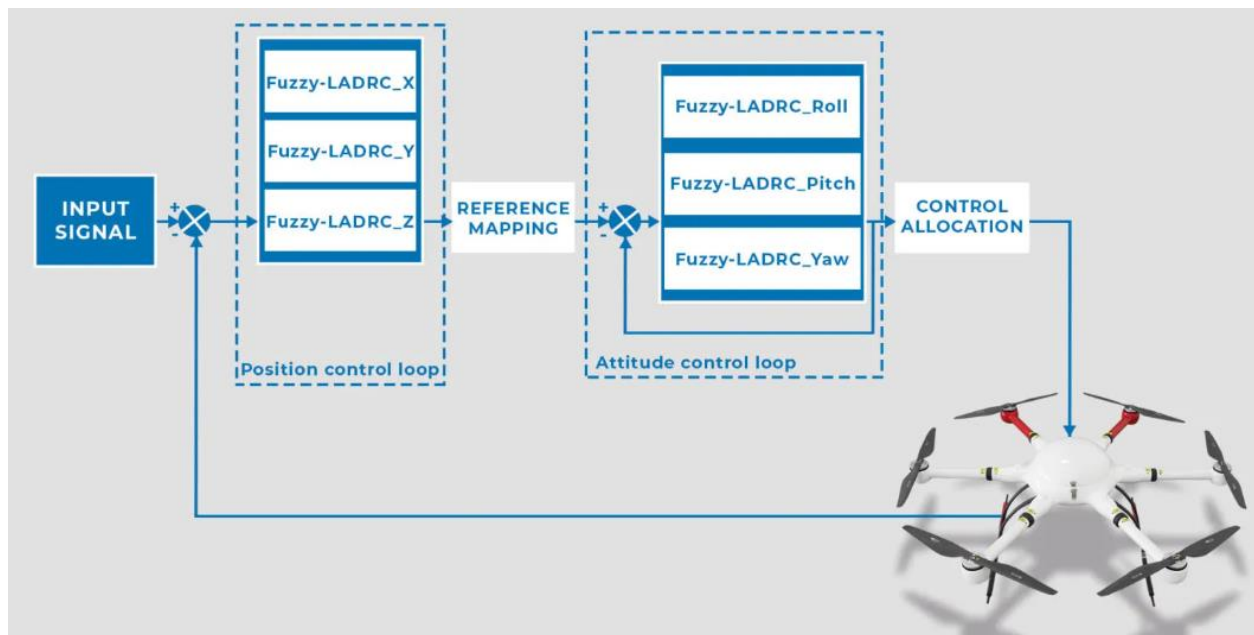


Figure 2. Fuzzy controller principle in Veronte Autopilot [392].

Nevertheless, the output of a fuzzy control is obtained from fuzzifications of equal inputs and outputs applying the combined affiliation purposes. A sharp input will be transferred to the various participants of the related participation functions established on their existing value. From this point of view, the output is built on its affiliation of the various affiliation purposes, which can be believed as a series of inputs [392].

To execute fuzzy logic method to an actual product entails the next three steps:

1. Fuzzification – convert classical data into membership functions.
2. Inference – combine membership functions with control rules to derive the fuzzy output.

3. Defuzzification – use a method to calculate each associated output and pick up the final output from a look-up table.

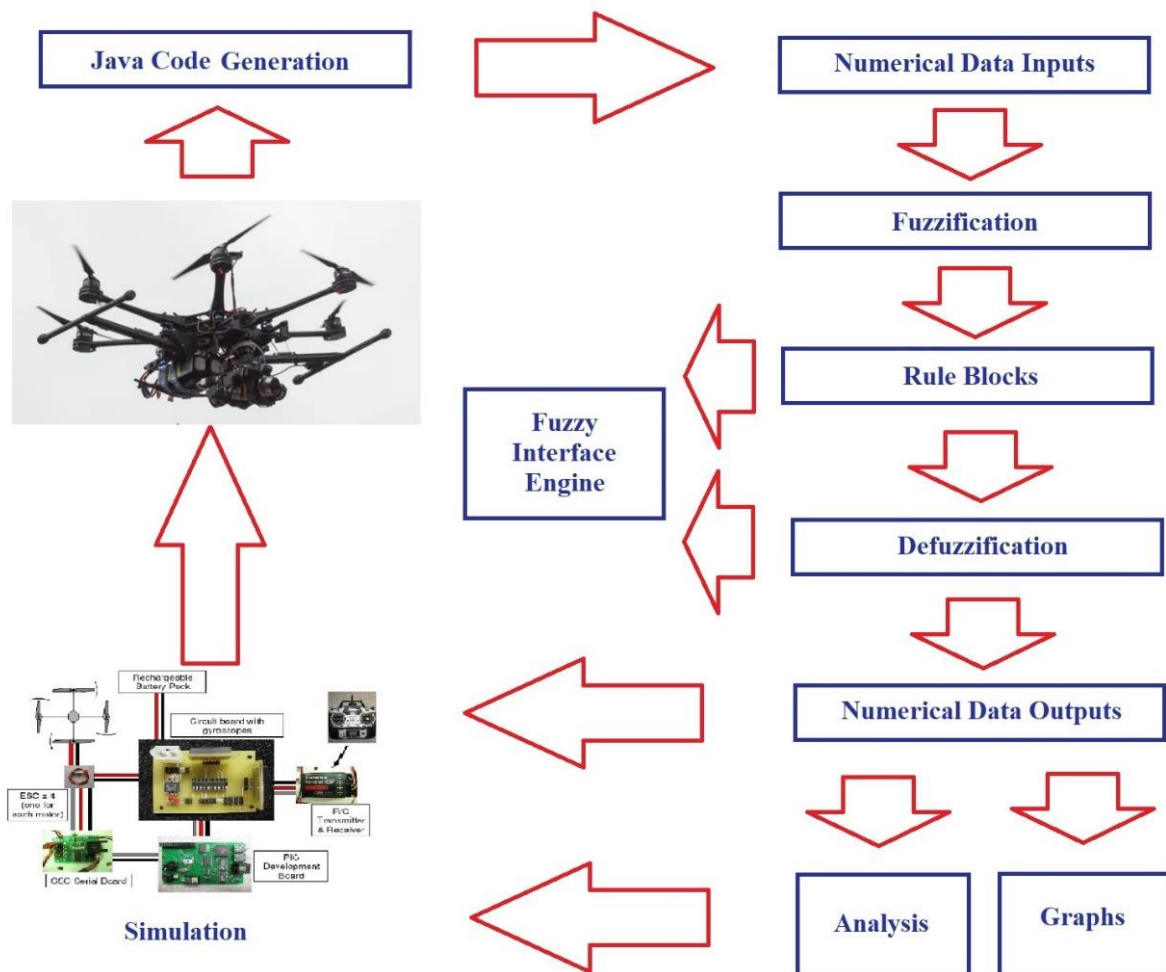


Figure 3. AI Technique Application.

All devices can handle crispy or traditional data such as either “true” or “false”. To enable devices to carry out hazy linguistic input such as “somehow satisfied”, the sharp input and output ought to be transformed to linguistic variables with fuzzy parts, for example: “High”, “Medium” and “Low”, or “Fast”, “Medium” and “Slow”. Contrasted with traditional control methods, like a static PID, a fuzzy controller is able of adjusting itself to the dynamics of the plant. If the transfer function of the plant varies over time, it is required to get arrangement with a PID controller, even though fuzzy logic factors stay constant.

The chosen experimental project was defined (Figure 3) but the purpose selected for the simulator graphical user interface (GUI) FZightGear proved too complicated for the given growth moment. This will be a key purpose for any investigation since it delivers a visual interpretation of the UAS control impacts. The software is free delivery and very good maintained.

#### **6.2.4.2 Hardware Improvements**

Drone distribution is an increasing area due to fast high-tech developments and to curiosity from appropriate firms in this application. The fast, consistent, and cost-effective delivery of vigorous provisions to publics precious by main disasters is a central component of humanitarian release. But the carriage of loads can be vulnerable to several issues such as injured infrastructure, roadblocks, and floods. So, UASs can play a significant role in the “last mile” delivery. They have been used to passage small payloads over brief distances and at a high amount. The humanitarian drone boxes may contain food, water, shelter kits or some medical supplies [389].

Innovations in battery equipment, like hydrogen fuel cells, and the capability to carry progressively more heavy payloads will push the UASs delivery business in the future years. Alongside artificial intelligence software, the drone's capacity to transfer payloads could increase humanitarian reactions to disasters. In some missions, specialists and AI envision that UAS will not only be important for hunting impacted people but then also for rescuing them. Following freely recognizing people to be rescued, UAS could give up goods such as food, two-way radio communication, cell phones or medicine to the sufferers.

Several specialists expect a future in which UAS would have the ability to carry payloads as heavy as even a human. Ventures in research and progress for UAS able of carrying gradually serious loads is especially significant. Several years ago, during the Amsterdam Drone Week in 2019, the passenger drone (Ehang Company) showed that they were about to modernize production and activities to make drone taxis commercially possible [389].

### 6.2.5 Discussion

Due to the benefits that fuzzy logic offers in conditions where the environment is frequently altered and partial information is offered, it is the basis behind the control tactic described here for motion planning. In this study, the overall control system is defined in detail, consisting of control inputs and outputs, the decision-making rule base, and defuzzification calculation, and the methodology used for useful operation concerns.

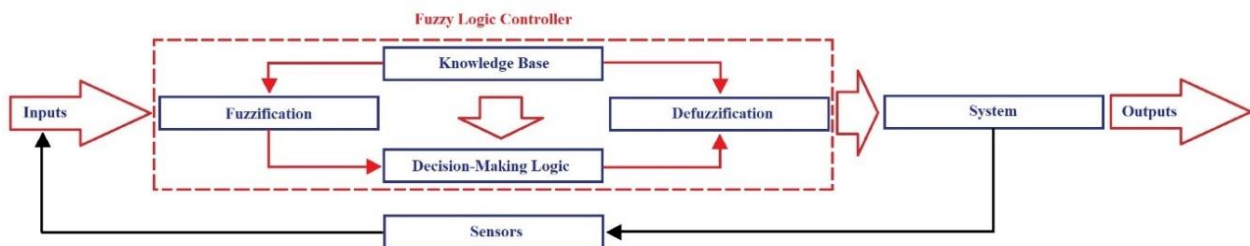


Figure 4. Fuzzy Logic Control System.

Fuzzy logic uses input using experimental intelligence and usually transforms them into outputs in three stages: 1) fuzzification, 2) decision-making logic, and 3) defuzzification (Figure 3). The fuzzy logic controller can be imagined in Figure 4 [393]. Fuzzification uses analog inputs and transfers them to a permanent amount between 0 and 1 based on their level of membership in each function. Some knowledge base is then employed to create a set of rules concerning the inputs and outputs in the structure of if-then statements. The outputs are ultimately switched back to sharp numbers applying a defuzzification method.

#### 6.2.5.1 Input and Output Functions

For this question unit, four inputs are used for the fuzzification interface, and two outputs are given after defuzzification. Inputs into the system are as observes distance from the UAV to the obstacle, angle between the UAV and the obstacle, the distance to the target, and the error among the current heading angle of the UAV and the angle of the target in relative to the inertial reference frame. The obstacle inputs

were used by Ref. [393] for fuzzy path tracing and indicated good outcomes for obstacle prevention. The target inputs were preferred built on the notion that there is only a minimal quantity of data about the target, except GPS coordinates. The outputs for the structure were also used et Ref. [393] and built on a lot of literature that uses these as the control inputs to a UAS.

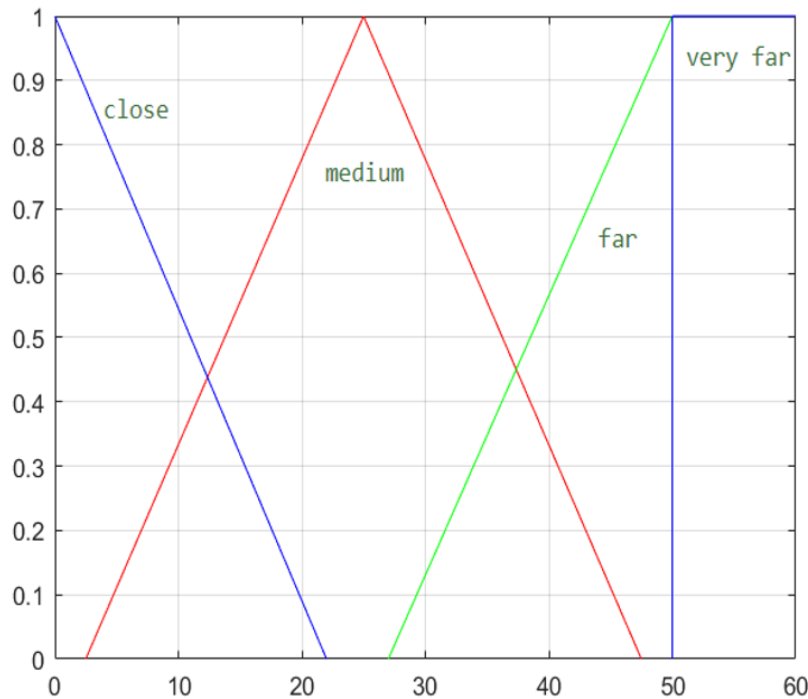


Figure 5. Input: distance between obstacle and agent (very far is for an obstacle out of sensing range).

The space to the obstacle (Figure 5) is described by four association functions: Close, Medium, Far, and Very Far. The angle between the obstacle and the UAV (Figure 6) is illustrated by six association functions: Negative Big, Negative Medium, Negative Small, Positive Small, Positive Medium, and Positive Big. Related to the barrier area, the space to the target (Figure 7) is specified by the next three association functions, like in Ref. [393]: On Top, Medium, and Far. Lastly, the error among the moving angle and the target angle (Figure 8) is defined by next seven association functions: Negative Big, Negative Medium, Negative Small, Zero, Positive Small, Positive Medium, and Positive Big.



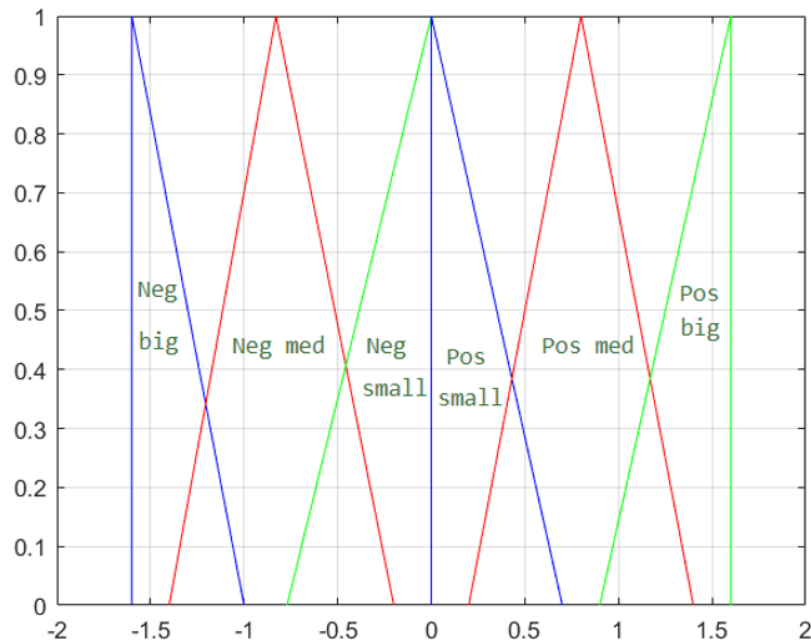


Figure 6. Input: distance between obstacle and agent (Neg big, Neg med, Neg small, Pos small, Pos med, and Pos big are for an obstacle out of sensing range).

### 6.2.5.2 Decision-Making Rule Base

For this question frame, four inputs are used for the fuzzification interface, and two outputs are done after defuzzification. Inputs into the structure are as follows: space from the UAV to the obstacle, angle between the UAV and the obstacle, the distance to the target, and the inaccuracy between the recent heading angle of the UAV and the angle of the target in relation to the inertial reference frame. The obstacle responses were used by Dong et Ref. [393] for fuzzy path tracing and demonstrated nice outcomes for obstacle avoidance. The target keys were selected built on the notion that there is only a negligible amount of data regarding the object; that is, GPS coordinates. The crops for the structure were also used by Dong et Ref. [393] and based on considerable information that employs these as the control inputs to a UAVs.

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

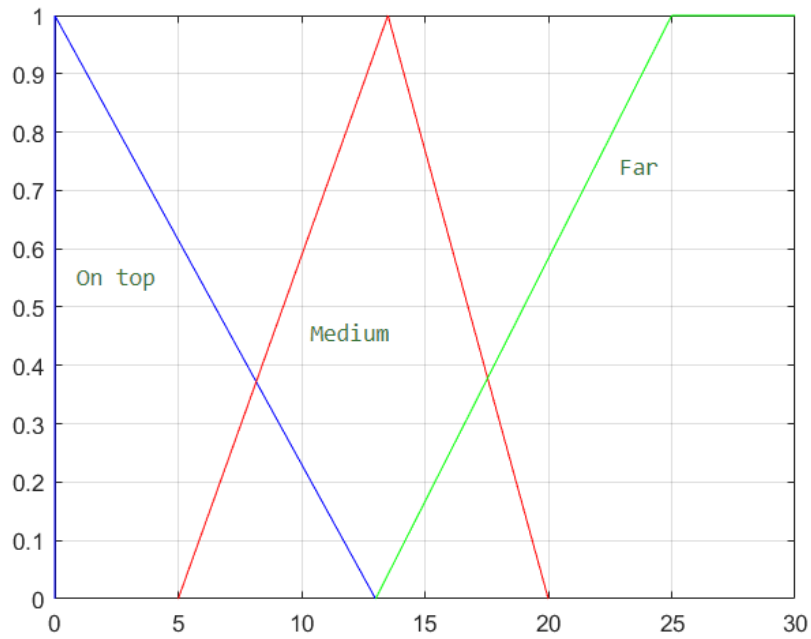


Figure 7. Input: distance between target and agent.

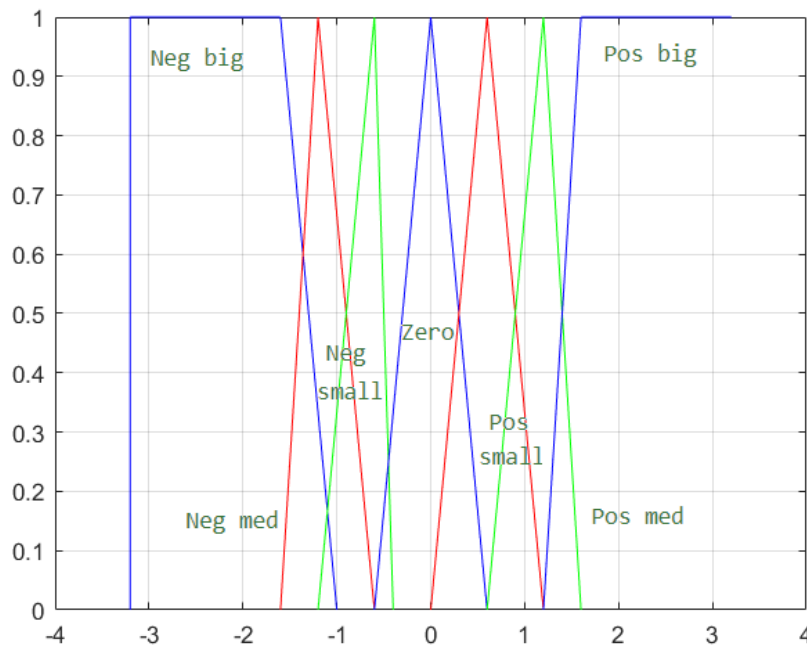


Figure 8. Input: angle between target and agent heading angle.

The space to the obstacle (Figure 5) is depicted by four association functions [393]: Close, Medium, Far, and Very Far (Out of Sensing Range). The point among the barrier and the UAV (Figure 5) is described by six association functions: Negative Big, Negative Medium, Negative Small, Positive Small, Positive Medium, and Positive Big. Related to the obstacle space, the distance to the target (Figure 6) is described by

three association functions: On Top, Medium, and Far. Ultimately, the inaccuracy between the heading angle and the target angle (Figure 7) is defined by seven association functions [393]: Negative Big, Negative Medium, Negative Small, Zero, Positive Small, Positive Medium, and Positive Big.

With these responses and a law basis, the control input for the structure is found. That is, the outputs of the fuzzy inference structure, the percent of the maximum velocity and the heading angle change, are employed as the control into the system. Consequently, the outputs of the fuzzy logic controller (Figure 4) are the percent of maximum velocity and the heading angle vary.

The output velocity (Figure 8) can be split into four association functions: Very Slow, Slow, Fast, and Very Fast. The output angle change over (Figure 8) is parallel to the target angle. Hence, there are seven association functions described by [393]: Negative Big, Negative Medium, Negative Small, Zero, Positive Small, Positive Medium, and Positive Big.

## **6.2.6 Numerical Simulation of Derivative-Free Kalman Filters for Fusion**

### **6.2.6.1 Kalman Filter and Data Fusion**

The Kalman filter (KF) method is extremely helpful in the kinematic fusion procedure. The three broadly employed techniques to execute fusion at the kinematic stage are:

- 1) fusion of the raw data-based and measurement data, called centralized fusion;
- 2) fusion of the expected state-vector fusion;
- 3) the hybrid approach, which permits fusion of raw data and the processed state vector, as required.

Kalman filtering has developed an extremely high-level state-of-the-art method for estimation of the states of aircraft's dynamic systems [392]. The most important cause for its realization is that it has an especially spontaneously appealing state-space design and a predictor-corrector evaluation and recursive-filtering form; moreover, it can be clearly applied on digital computers and digital signal processing elements. It is

a numerical data processing algorithm, which has huge real-time and online usage capacity.

This is due to its recursive formulation in Ref. [392]: new estimate = previous estimate + gain times the residuals of the estimation. This is extremely powerful but simple valuation data-processing configuration. Highest of the real-time and online evaluation and filtering algorithms have related data-processing algorithms. But KF is a mathematical model-based methodology. We define a dynamic system as:

$$x(k+1)=\phi x(k)+Bu(k)+Gw(k) \quad (1)$$

$$z(k)=Hx(k)+Du(k)+v(k) \quad (2)$$

At this point,  $x$  is the  $n \times 1$  state vector;  $u$  is the  $p \times 1$  control input vector to the dynamic system;  $z$  is the  $m \times 1$  measurement vector;  $w$  is a white Gaussian process-noise structure, with zero mean and covariance matrix  $Q$ ;  $v$  is a white Gaussian measurement-noise structure, with zero mean and covariance matrix  $R$ ;  $\phi$  is the  $n \times n$  transition matrix that circulates the state ( $x$ ) from  $k$  to  $k + 1$ ;  $B$  is the input gain or scale vector or matrix;  $H$  is the  $m \times n$  dimension model or sensor-dynamic matrix; and  $D$  is the  $m \times p$  feed forward or direct-control input matrix, which is frequently omitted from the KF expansion. In addition,  $B$  is frequently excluded if there is no obvious mechanism input performing a starring role. Variation of the KF with inclusion of  $B$  and  $D$  is comparatively simple. Though extremely dynamic aircraft systems are continuous in time, the Kalman filter method is the most discussed and is mainly applied in the discrete-time structure. The problem of state estimation using KF is created as in Ref. [392]: certain the example of the dynamic system, statistics concerning the noise ( $Q, R$ ) procedures, the noisy measurement data ( $z$ ), and the input ( $u$ ), define the optimal estimation of the state,  $x$ , of the system.

We assume that the state estimation at  $k$  has developed to  $k + 1$ . At this point, a recent dimension is made available, and it hopefully contains new data concerning the state, as per Eq. 2. Therefore, the notion is to integrate the magnitude into the data-fusion, as update as filtering procedure and find a developed and superior evaluation of the state.

### **6.2.6.2. Inference Methods**

An extrapolation which is built on certain studies like [394, 395] is characterized as an action of going after one intention, argument, or decision be concerned about or supposed to be right, whose truth is assumed to understand, by reason, formulae, or procedure, since the scheme or declaration. Inference methods (IM) are used, as mentioned in Ref. [392], for decision making or fusion to come at a result after the existing information. The conclusion relating whether the way in front of a taxing aircraft is barred or available, provided by the quantities of various distance sensors, be able to be considered as an inference challenge.

The traditional IM performs exams on an adopted assumption to a different proposition, and it generates the possibility of the really detected data having been put forward if desired assumption were true. The traditional IM does not sustain the practice of priori data regarding the possibility of a planned assumption; however, the priori chance is considered in the Bayesian inference method (BIM).

The Bayesian theorem quantifies the chance of hypothesis H, provided by an issue E that has happened. Using multiple assumptions, the BIM can be applied for resolving classification challenges; the Bayes' rule will then generate a possibility for every assumption. Due to constraints of the BIM, Dempster at Ref. [394] simplified the Bayesian theory of biased possibility. Dempster's rule of combination, which runs on principle or mass tasks as Bayes' rule does on chances, was very sophisticated. Shafer at Ref. [395] extended Dempster's theory and created a mathematical concept of proof, which be able to be used for interpretation of partial information, renewing of attitudes, and for mixture of data.

### **6.2.6.3 Executive Actions**

A smart robot ought to work out regarding its nature to effectively set up and implement activities [395]. A type of the driver's world is supplied by fusing some experiences from various sensing bodies, distinct explanation techniques, or after any

possible sensors at various occasions. As such, “sensitivity” indicates an inner explanation of the exterior nature across the aircraft.

This procedure is named Active World Model (AWM). Therefore, an aircraft uses a “prototype,” the inner narrative, to mind around the outer world. The techniques of evaluation principle require engineering and scientific developments for fusion in the case of numerical information. Inference methods can be used as computational processes in cases of representative data. Fusion of such representative data would make rational and inference in the existence of ambiguity.

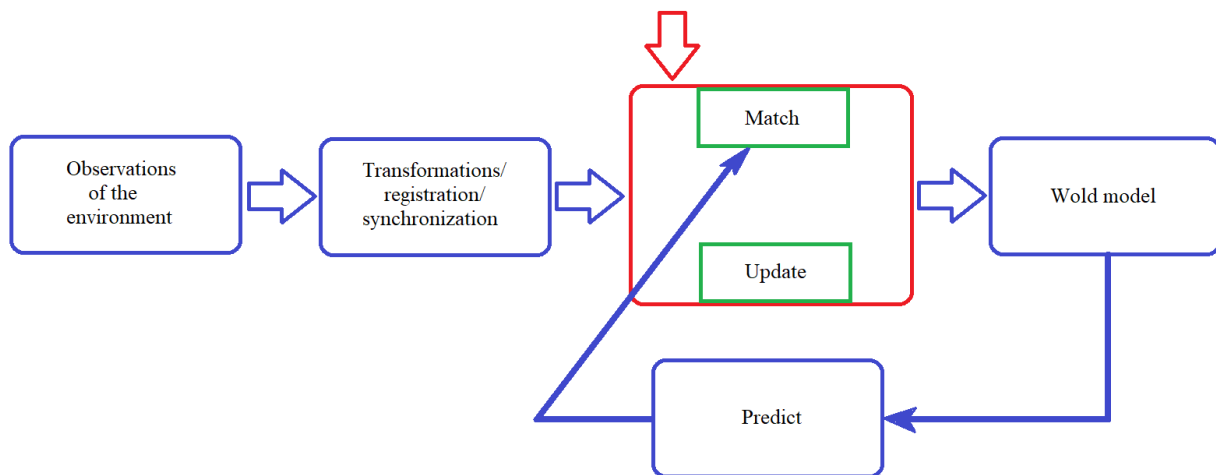


Figure 9. Active world-standard structure.

The AI society applies rule-based inference machines. This might be built on further- or regressive-chaining practices, such as fuzzy logic centred fuzzy association tasks, which get to fulfil several conditions, as argued in [393]. Perceptual fusion is essential to the development of AWM. AWM is a reiterative procedure for fusing the reflections into an inner type. The structure of the AWM process is displayed in Fig. 9. This repeated procedure contains forecast, competition, and renew stages.

#### 6.2.6.4 Numerical Simulation

Typically, extended Kalman filter (EKF) gives us a suboptimal explanation to a done nonlinear approximation task. EKF holds two key restrictions [396]:

1) the derivations of the Jacobian matrices (in the case of linearization) are repeatedly nontrivial, take the lead to certain application questions; and

2) linearization can lead to very unpredictable filters and deviation of the key path for very nonlinear systems.

In lots of chasing requests, sensors frequently offer nonlinear quantities in a polar structure (range, bearing, or azimuth and elevation).

State evaluation is completed in Cartesian frame [396]. To improve these challenges, a method called derivative-free KF (DFKF) has been developed [397]. DFKF generates a related operation once linked to EKF after the hypothesis of regional linearity is not harmed. It does not need any linearization of the nonlinear systems or functions, and it employs a deterministic sample method to calculate the average and covariance estimates with a set of test points. These points are titled sigma points. Hence, the importance is moved from linearization of nonlinear systems, such as in EKF and many higher-order EKF-type filters, to a testing approach of pdf. In this publication, the concept of DFKF [396] is expanded to DF for related sensors. Let a nonlinear system model in discrete area be presented as

$$x(k+1) = f[x(k), u(k), w(k), k]. \quad (3)$$

The sensor-measurement model is given by

$$z_m(k) = h[x(k), u(k), k] + v(k). \quad (4)$$

In EKF, the nonlinear system versions are linearized to parameterize the pdf in words of its normal and covariance. In DFKF, linearization is not needed, and pdf is parameterized by nonlinear conversion selected sigma points. These points are determined deterministically. Believe the time spread of a random variable  $x$  (of width  $L$ , tell  $L = 2$ ) over a nonlinear function  $y = f(x)$ . Imagine that the meaning and covariance of sigma points for random variable are given as  $x$  and  $P_x$ , correspondingly. The sigma points are calculated as [393]:

$$\left. \begin{aligned} \chi_0 &= \bar{x}, \\ \chi_i &= \bar{x} + \left(\sqrt{(L+\lambda)P_x}\right)_i, i = 1, \dots, L \\ \chi_i &= \bar{x} - \left(\sqrt{(L+\lambda)P_x}\right)_{i-L}, i = L+1, \dots, 2L \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

The related weights are calculated as

$$\left. \begin{aligned} W_0^{(m)} &= \frac{\lambda}{L+\lambda}, \\ W_0^{(c)} &= \frac{\lambda}{L+\lambda} + (1 - \alpha^2 + \beta), \\ W_i^{(m)} W_i^{(c)} &= \frac{\lambda}{2(L+\lambda)}, i = 1, \dots, 2L \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

The grading constraints of DFKF are:

- 1)  $\alpha$  defines the increase of sigma points at nearly  $x$ ;
- 2)  $\beta$  combines any previous information regarding allocation of  $x$ ;
- 3)  $\lambda = \alpha^2(L + \kappa) - L$ ;
- 4)  $\kappa$  is a minor correction factor.

The mean and covariance of renovated points are expressed as:

$$\bar{y} = \sum_{i=0}^{2L} W_i^{(m)} y_i, \quad (7)$$

The grading calculated as

$$P_y = \sum_{i=0}^{2L} W_i^{(c)} \{y_i - \bar{y}\} \{y_i - \bar{y}\}^T. \quad (8)$$

DFKF is a basic and simple expansion of derivative-free conversion for the recursive estimate task. The complete condition of the filter can be built by the expanded state vector containing the real order states, procedure noise conditions, and quantity noise states. The aspect of augmented state vector would be  $n_a = n + n + m = 2n + m$ .

We suppose that as the aircraft arrives at the air environment at high altitude at speed, it is followed by two basic sensors located near that have got various fundamental precisions. The dimensions are in times of scale and manner. In the preliminary stage, the aircraft has a nearly ballistic path, but as the density of the atmosphere rises, the drag is further active, and the aircraft quickly slows down to its flow is practically vertical. The state-space model of aviation dynamics is presented in Ref. [398]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1(k) &= x_3(k), \\ \dot{x}_2(k) &= x_4(k), \\ \dot{x}_3 &= D(k)x_3(k) + G(k)x_1(k) + w_1(k), \\ \dot{x}_4 &= D(k)x_4(k) + G(k)x_2(k) + w_2(k), \\ \dot{x}_5(k) &= w_3(k). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$



Here: 1)  $x_1$  and  $x_2$  are target locations; 2)  $x_3$  and  $x_4$  – both are velocities; 3)  $x_5$  is a factor associated to several aerodynamic assets; 4)  $D$  is the drag-linked term; 5)  $G$  is the gravity-linked term; 6)  $w_1$ ,  $w_2$ , and  $w_3$  are uncorrelated white Gaussian procedure noises with zero mean and standard deviations of  $\sigma_{w_1} = 0.0048$ ;  $\sigma_{w_2} = 0.0047$  and  $\sigma_{w_3} = 4.87e - 8$ , respectively. The drag and gravitational terms are computed using the following equations as mentioned in Ref. [398, 399]:

$$\left. \begin{aligned} D(k) &= -\beta(k) \exp\left\{\frac{r_0 - r(k)}{H_0}\right\} V(k), \\ G(k) &= \frac{r_0 - r(k)}{H_0}, \\ \beta(k) &= -\beta_0 \exp(x_5(k)), \\ r(k) &= \sqrt{x_1^2(k) + x_2^2(k)}, \\ V(k) &= \sqrt{x_3^2(k) + x_4^2(k)}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

At this point,  $\beta_0 = -0.598$ ,  $H_0 = 13.509$ ,  $G_{m0} = 3.998 \times 10^5$ , and  $r_0 = 6391$  are the factors that reflect some environmental and aircraft features [398]. The initial state of vehicle is  $[6498.5, 368.25, -1.92, -6.883, 0.784]$ , and the data are produced for  $N = 1500$  scans. The aircraft is followed by two sensors in vicinity (at  $x_r = 6486$  km,  $y_r = 0$  km), and the data ratio is 5 examples. The sensor model equations are as follows:

$$\left. \begin{aligned} r_1(k) &= \sqrt{(x_1(k) - x_r)^2 + (x_2(k) - y_r)^2} + v_{ir}(k), \\ \theta_i(k) &= \tan^{-1} \left[ \frac{(x_2(k) - y_r)}{(x_1(k) - x_r)} \right] + v_{i\theta}(k). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Here,  $r_i$  and  $\theta_i$  are the scale and direction of  $i^{\text{th}}$  sensor, and  $v_{ir}$  and  $v_{i\theta}$  are the related white Gaussian amount noise procedures. At this point, it is believed that sensor 1 offers great point and carrying data but has noisy range measurements, and vice versa for the second sensor with the basic variations of variety and carrying noises as for sensor 1:  $\sigma_{1r} = 1$  km,  $\sigma_{1\theta} = 0.05^\circ$  and for sensor 2:  $\sigma_{2r} = 0.22$  km,  $\sigma_{2\theta} = 1^\circ$ . To create a fusion idea, the expectations of the adjustments done for the DFKF procedure are:

- 1) the sensors are of related form and get the same information kind or format;
- 2) the dimensions are matched by time.

Tables 1 to 3 deliver presentation indicators for these two filters (with  $R_{v1} = R_{v2}$ ): under normal condition and with data damage in both sensors for almost a few seconds.

Table 1.

Percentage Fit Errors [392]

Bounds	Normal	Data Loss in Sensor 1	Data Loss in Sensor 2
HIPOFA-F1	0.443	0.442	0.443
HIPOFA-F2	0.435	0.435	0.427
HIGFA-F1	0.443	0.442	0.443
HIGFA-F2	0.436	0.436	0.427

Table 2.

Percentage of State Errors [392]

Bounds	Normal		Data Loss in Sensor 1		Data Loss in Sensor 2	
	Position	Velocity	Position	Velocity	Position	Velocity
HIPOFA-F1	0.211	5.56	0.202	5.55	0.212	5.54
HIPOFA-F2	0.211	5.99	0.207	5.99	0.186	5.99
HIPOFA	0.151	5.54	0.146	5.54	0.143	5.52
HIGFA-L1	0.211	5.55	0.203	5.55	0.214	5.56
HIGFA-L2	0.211	5.94	0.207	5.94	0.187	5.91
HIGFA	0.065	6.24	0.066	6.24	0.063	6.25

Table 3.

H-Infinity Norm (Fusion Filter) [392]

Bounds	Normal	Data Loss in Sensor 1	Data Loss in Sensor 2
HIPOFA	0.533	0.053	0.053
HIGFA	0.015	0.016	0.015

### 6.2.6.5 Discussion

The virtual data is produced in MATLAB environment for the following task [399]. The normalized accidental noise is added to the state vector and the dimensions of each sensor are distorted with accidental noise. The sensors might have disparate

# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

length noise variations. The initial condition for the state vector is  $x(0) = [200 \ 0.5]$ . The implementation of the fusion filters is also valued in conditions of H-I type. This relation (the H-I type) ought to be fewer than  $\gamma^2$ , which can be believed to be higher constrained on the limit energy gain since the input to the output. The output energy of the filter is due to the inaccuracy in fused state.

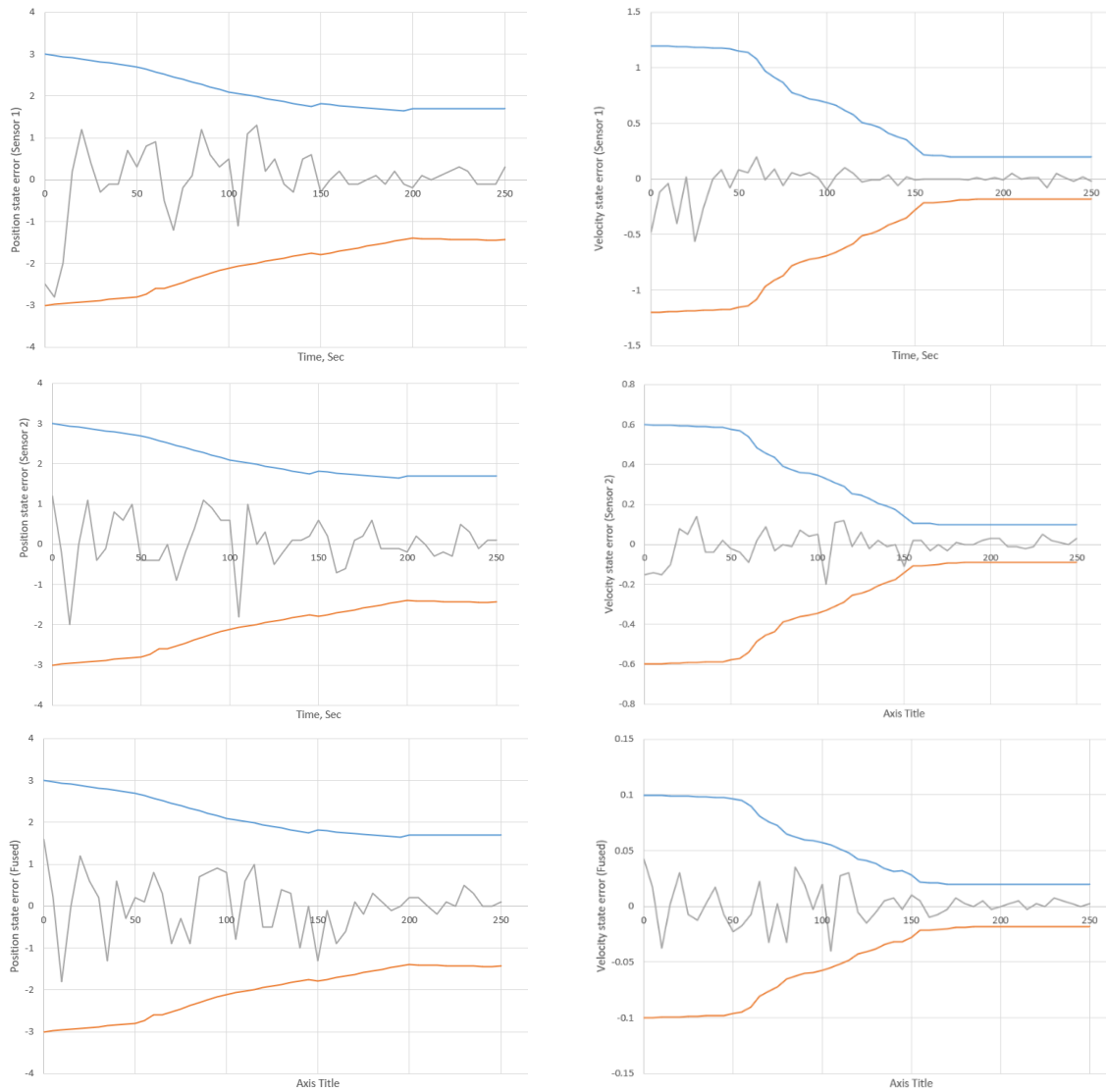


Figure 10. State errors with bounds for HIPOFA:  $\text{var}(v_2) = 9 \cdot \text{var}(v_1)$ ; (data loss in Sensor 1).

# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

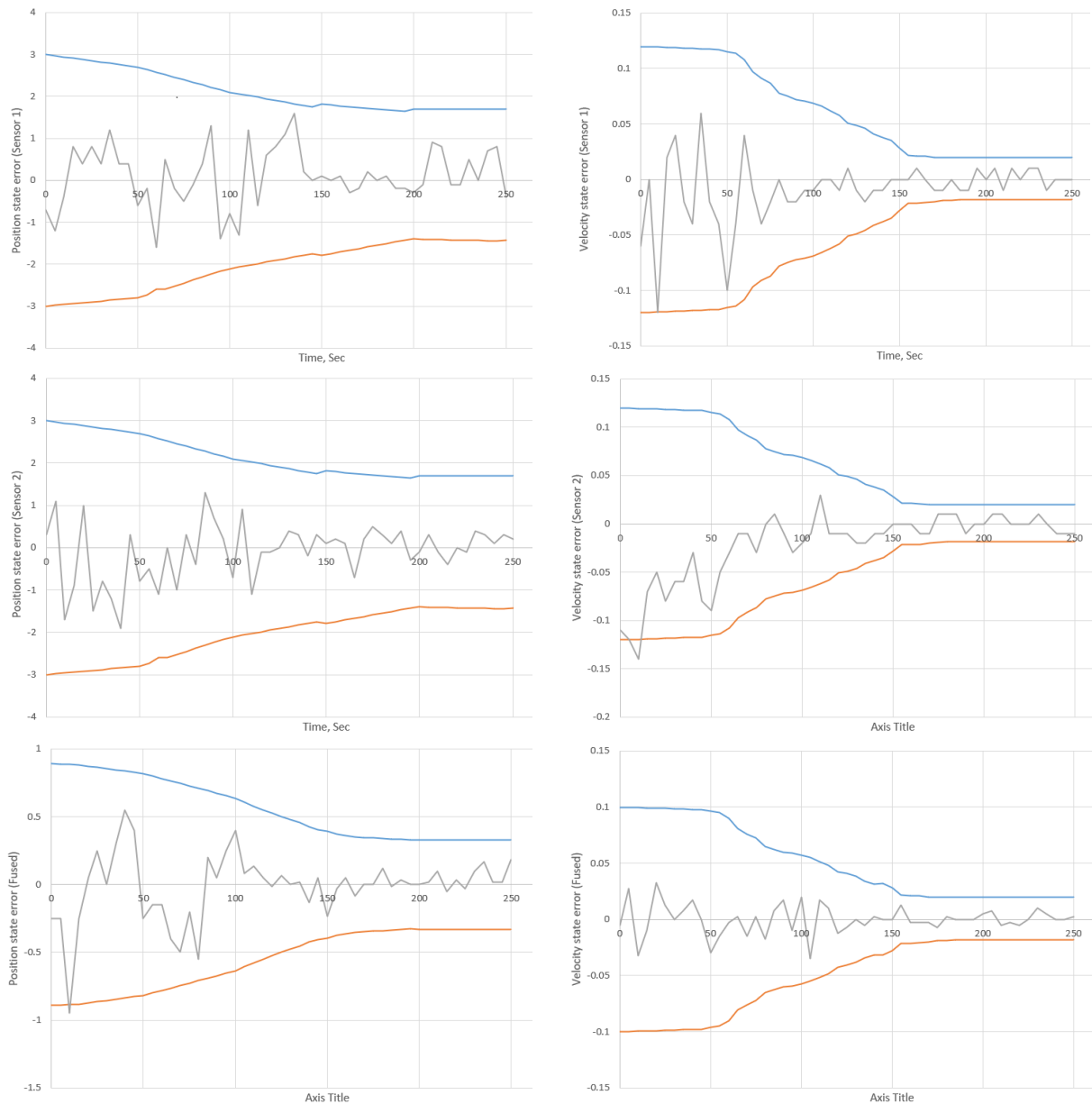


Figure 11. State errors with bounds for HIGFA:  $\text{var}(v_2) = \text{var}(v_1)$ ; (data loss in Sensor 1).

The imaginary covariance norm of the fused state was discovered to be less than that of the filters. Fig. 10 and 11 illustrate the time histories of state errors with the bounds for H-I posteriori fusion algorithm (HIPOFA) and H-I global fusion algorithm (HIGFA) methods when there is data loss in sensor 1 [397]. A few can perceive that the two fusion algorithms are strong to the loss of data and that the errors are smaller when the fusion filters are applied. The crucial characteristic for the H-I filters is the correction of the scalar parameter gamma to achieve the desired outcomes. From the numerical results offered in the tables, one can see that extremely reasonable precision

of location and velocity approximation has been found using the H-I filter. Also, the H-I norms have appropriate principles as needed by the concept.

Fig. 11 illustrates the time stories of state faults with the limitations for posteriori fusion algorithm when there is data loss in sensor [399]. A few can observe that the two fusion procedures are strong to the loss of data and that the faults are smaller when the fusion filters are applied. The key part for the posteriori fusion filters is the correction of the scalar parameter gamma to get the desired effects. From the numerical outcomes, one can see that incredibly acceptable precision of view and velocity approximation has been obtained using the H-1 filter. Additionally, the H-I norms get adequate amounts as needed by the concept.

### **Conclusion and Future Work**

The AI methods can be significantly increased with additional effort in this progress. Efforts can be made to develop the work of AI methods so an evaluation can be made versus extra traditional flying controllers. Offered here is the design and confirmation of a fuzzy logic controller (FLC) for movement designing in real-time in a two-dimensional, unidentified environment. As a result, the combination of code plus the ability to visually examine the execution and evaluate the outcomes real time will require a robust, feasible, and low-cost platform for research with AI methods which are used to UAS flight control.

The fuzzy reasoning structure was tested on numerous, static barriers and for moving objects. The fuzzy intelligence system was matched to an optimum methodology and a procedure built on possible UAS fields that as well action plans in real time.

The resemblance to another path preparing techniques showed that the FLC has good quality outcomes, and they can be gained online with any kind of environment. This was displayed to be incredibly consistent, with only nearly a 3% error rate across all issues. The inaccuracies that made happen were when the UAV navigated into a region that did not have an opening, and it could not properly maneuver out. But this

technique is not perfect, the proposed method demonstrated a considerably better failure rate at about 18% overall (and 34% for complex environments). Furthermore, the artificial potential field solution process applied considerably additional control attempt (about 10 times) than the FLC.

It was also indicated that in most cases when the environment is relatively straightforward (only contains polygons or “closed” obstacles) the fuzzy inference systems makes near-optimal results steadily. That is, the potential fields method was able to reach within 5.7% of the perfect cause in straightforward conditions, in 10.7% for normal conditions, and in 6.5% for challenging situations for separate ran (7.7% overall). This defeats the entire process for the potential fields’ method, which mentioned above, at 9.7%.

Although the operation is fewer consistent for obstacle improved conditions, the outcomes are even capable to be achieved in actual period and with sufficient proximity to optimality. As conditions get gradually denser, the ideal result will be trickier to get in a sufficient time. This will make it impractical to depend on securing an optimum explanation still if the situation is totally established earlier to mission.

The outcomes shown in this work showing that the proposed algorithm surpasses the potential fields method in dependability of achievement of a result, in close-optimality, and quantity of control attempt applied. Anything is further, it was able to do so in actual time with limited data, which the optimum result was not.

But quantitatively it is clear that the FLC surpasses the artificial possible field result and optimal methods, there are some qualitative benefits to the fuzzy controller. The decreased failure ratio is a distinctive characteristic of fuzzy logic. Fuzzy logic lets the customer obtain a lot more data about the situation in a more effective way. Furthermore, the existing tools permit the user to simply create and operate fuzzy inference systems. This becomes it an especially effective tool that permits the operator to look at the impacts of integrating further info with minimal attempt.

The benefits of using fuzzy logic for a movement planner were shown in this research: a small number of failures, near-optimal pathways, and low control attempt. It is these benefits that make it a nice tool for additional improvement. Certain potential

clear future works that were not investigated in this study are motion-planning in three dimensions, prevention of dynamic obstacles, and more robust analysis.

Proposed paper illustrates the application of numerous embedded sensors to discover and display the health concerns or malfunction of different parts of the aircraft, eventually supporting active care to avoid aircraft components from failures.

As a result, aircraft application sensors were analyzed. Those sensors could be used for permanent examination of crew as passenger cabin environment conditions.

World aviation practice shows that existing and perspective subsystems require periodic and scheduled inspection and maintenance functions. Thus, structural examining is vital, and it has a gigantic capacity to reduce the costs related to these processes.

For kinematic fusion procedures, the Kalman filter method is extremely helpful. For that case those are broadly employed techniques to execute fusion to the kinematic stages. Besides this, the Kalman filtering has been developed for estimation of the aircraft system states.

Hence, the most important cause for its realization is appealing state-space design and a prediction on base of derivative-free Kalman filter.

### **6.3 Удосконалення технології дрібно-кускових напівфабрикатів з використанням стартових культур**

#### **Вступ**

Удосконалення технології м'ясних дрібношматкових напівфабрикатів є завданням, що актуалізується, зважаючи на стрімкі зміни в динаміці та структурі споживання м'ясних продуктів, а також з огляду на необхідність створення технологій подовження термінів зберігання м'ясопродуктів.

Дрібношматкові м'ясні напівфабрикати за своїми технологічними особливостями є продукцією, виробництво якої дозволяє не лише розширити асортимент м'ясопродуктів, але і проводити переробку м'ясної сировини більш комплексно. Питання комплексної переробки м'ясної сировини є актуальним, зважаючи на потенціал до збільшення частки високомаржинальних продуктів. Для багатьох видів м'ясних дрібношматкових напівфабрикатів однією з перешкод до збільшення їх термінів зберігання, покращення логістичних зв'язків та зростання маржинальності продукції є досить високий рівень мікробіологічного обсіменіння вхідної сировини, що є особливо актуальним для напівфабрикатів із м'яса птиці та напівфабрикатів, отриманих зі свинини з вадами автолізу.

Коливання цін та зміни у структурі кормової бази є однією з основних причин, що можуть змінювати раціони та режими утримання та годівлі м'ясних свиней, внаслідок чого виникає додатковий ризик формування автолітичних процесів з відхиленням від нормального їх перебігу. Оскільки стартові культури є одним з методів модифікації сировини перед її термічною обробкою та можуть бути застосовані безпосередньо після отримання дрібношматкових напівфабрикатів, їх застосування є одним з раціональних методів коригування значення рН, пластичності, вологості та інших основних функціонально-технологічних характеристик м'ясних дрібношматкових напівфабрикатів.



Процеси ціленаправленої та контрольованої ферментації, що проходять під впливом стартових культур не лише мінімізують розвиток умовно-патогенної мікрофлори через зниження рН, інгібування небажаних мікроорганізмів та зниження активності води, але і значно впливають на функціональність та якісний склад білків м'язової тканини, призводячи до їх часткового протеолізу. Внаслідок протеолізу не лише формуються характерні для ферментованих продуктів смако-ароматичні сполуки, але й утворюється значна кількість пептидів та окремих амінокислот, позитивно впливаючи на доступність білків даного продукту до перетравлювання та засвоєння організмом людини.

Подовження терміну зберігання м'ясних дрібношматкових напівфабрикатів дасть можливість не лише уникнути процесів заморожування та розморожування для деяких видів продуктів, але і значно розширити асортимент виробів з високими споживчими якостями, високою біологічною цінністю та ефективністю.

### **6.3.1 Перспективи застосування стартових культур в технології дрібношматкових напівфабрикатів**

Стартові культури для м'ясної промисловості можна описати, як життєздатні мікроорганізми, що додаються безпосередньо до м'ясної сировини для подовження термінів зберігання, підвищення безпечності та/або підвищення органолептичних характеристик м'ясного продукту. Крім того, харчові якості м'ясопродуктів повинні як мінімум не погіршуватись, а як максимум покращуватись внаслідок додавання стартових культур. До бажаних характеристик стартових культур можна віднести такі властивості: мікроорганізми повинні бути стійкими до впливу кухонної солі та нітритів (інтенсивно рости при 6% NaCl і 0,01 % вмісту нітритів), повинні розвиватись в температурному діапазоні від 27 до 43°C з оптимальною температурою приблизно 32°C, не повинні виробляти сполук, пов'язаних із неприємними запахами, і не повинні бути шкідливими для здоров'я (не бути ані патогенами, ані виробляти токсичні сполуки в рамках свого метаболізму).

Якщо стартові культури є молочнокислими бактеріями, вони повинні бути гомоферментативними, оскільки утворення газу та інших продуктів ферментації, окрім молочної кислоти, сприяють появі неприємного присмаку та інших дефектів. Молочнокислі бактерії не повинні бути протеолітичними або ліполітичними; однак ці реакції можуть бути бажаними в конкретних типах ферментованих м'ясопродуктів. Так, з використанням окремих видів *Pediosoccus cerevisiae*, *P. pentosaceum* можна виробляти різноманітні напівсухі та сухі ферментовані ковбаси.

Основна роль молочнокислих бактерій полягає у швидкому виробництві молочної кислоти з цукрів (зазвичай глюкози), доданих до фаршевої суміші або присутніх у сировині. Молочна кислота знижує рН ферментованих м'ясопродуктів, тим самим покращуючи термін зберігання продуктів, окрім того, молочна кислота надає продукту гострий смак і денатурує м'ясний білок. Ця денатурація, яка також призводить до виділення вологи внаслідок досягнення білком ізоелектричної точки, значною мірою відповідає за текстуру ферментованих м'ясопродуктів [401].

Каталаза, що виробляється мікрококами, розкладає пероксиди, що утворюються в м'ясі під дією мікробів або в результаті окисних реакцій. Пероксиди можуть призвести до утворення дефектів кольору м'ясопродуктів. Однією з проблем, з якою постійно стикаються виробники ферментованих м'ясопродуктів, є ймовірність того, що ферментативна мікрофлора може виробляти потенційно токсичні сполуки з нетоксичних компонентів, які зазвичай присутні в харчових продуктах.

Роль протеолізу у виробництві ферментованих м'ясопродуктів. Протеоліз - це біохімічний процес у висушених м'ясних продуктах, під час якого білки метаболізуються та розщеплюються до поліпептидів, пептидів і вільних амінокислот. Правильний вибір пробіотичних заквасок обмежує протеолітичні зміни в сухих ферментованих м'ясних продуктах. Було оцінено сукупний вплив суміші пробіотичних заквасок на профіль вільних амінокислот, загальну кількість молочнокислих бактерій і сенсорну якість висушених свинячих

корейок після ферментації та після зберігання зразків у вакуумній упаковці[?????]... ФАО/ВООЗ характеризує пробіотики як живі мікроорганізми, які при введенні в адекватних кількостях сприяють здоров'ю людини. Пробиотичні продукти повинні містити ці мікроорганізми не менше  $6,0 \log$  КУО г<sup>-1</sup> (КУО мл<sup>-1</sup>) до кінця терміну придатності [400]. Пробиотики відіграють важливу роль у захисті організму від шкідливих мікроорганізмів, а також зміцнюють імунну систему.

В даний час виробництво промислових стартових культур з використанням переважно молочнокислих бактерій демонструє позитивний вплив на технологічні процеси виробництва м'ясних продуктів. Протеоліз є одним із найважливіших біохімічних процесів під час ферментації м'ясних продуктів. Розщеплення білків відбувається за участю ендогенних та мікробіологічних ферментів, що, у свою чергу, часто призводить до дезамінування та декарбоксилювання. Основними продуктами декарбоксилювання білків м'яса є біогенні аміни: кадаверин, путресцин, тирамін і гістамін [400]. Використання стартових культур у виробництві ферментованих м'ясопродуктів завжди є передбаченим рецептурою або технологічними інструкціями та спрямоване на отримання заданих сенсорних і мікробіологічних характеристик у кінцевому продукті.

### **6.3.2 Стартові культури в ферментованих м'ясних продуктах**

Перше покоління м'ясних стартових культур, як правило, базувалося на мікроорганізмах, виділених у результаті ферментації овочів, таких як *L. plantarum* і представники роду *Pediosoccus*. Потім було розроблено друге покоління культур, що містять штами м'ясного походження, такі як *L. sakei* та коагулазонегативні стафілококи (CNS), що містять фенотипові ознаки технологічного значення [402]. Більшість комерційно доступних бактеріальних препаратів є комбінованими культурами LAB (головним чином *Lactobacillus* spp. і *Pediosoccus* spp.) і GСС (головним чином *Staphylococcus* spp. і *Kocuria* spp.).

Останнім часом зусилля науковців були спрямовані на вивчення фізіологічних і технологічних властивостей LAB і CNS, виділених із

традиційних ферментованих ковбас, з метою розробки функціональних заквасок, які підвищують безпечність і харчові переваги при збереженні промислових показників [403].

Виробництво продуктів прискореної ферментації включає спонтанне бродіння, кероване бактеріями LAB і GCC і, що не менш важливо, грибами, а саме пліснявою та дріжджами. Ці бактерії відповідають за мікробні реакції, які відбуваються під час бродіння м'яса, такі як підкислення, активність ферменту каталази та виробництво бактеріюцину .

Молочнокислі бактерії – нерухомі мікроорганізми, які не утворюють спор, каталазонегативні, грампозитивні, вони не утворюють пігменту, не відновлюють нітратів до нітритів. Зазвичай молочнокислі бактерії не дихають і не містять каталази. Вони виробляють молочну кислоту як один з основних продуктів бродіння вуглеводів. Вони позбавлені справжньої каталази і не мають цитохромів. Усі LAB ростуть анаеробно, але на відміну від більшості анаеробів, вони ростуть у присутності кисню як «аеротолерантні анаероби» . Відповідно до сучасної таксономічної класифікації вони належать до типу Firmicutes, класу Bacilli, порядку Lactobacillales. Шість різних родин включають усі роди, як представлено в таблиці 1[403].

Таблиця 1. Родини та роди молочнокислих бактерій

Родина	Рід	Клітинна морфологія	Цукрове бродіння
Aerococcaceae	Aerococcus	Cocci-tetrads	Гомоферментативне
Carnobacteriaceae	Carnobacterium Enterococcus	Bacilli Cocci	Гомоферментативне Гомоферментативне
Enterococcaceae	Tetragenococcus Vagococcus	Cocci-tetrads Cocci	Гомоферментативне Гомоферментативне
Lactobacillaceae	Lactobacillus Pediococcus	Bacilli Cocci-tetrads	Штамзалежне Гомоферментативне
Leuconostocaceae	Leuconostoc Oenococcus Weissella	Cocci Cocci Cocci/bacilli	Гетероферментативне Гетероферментативне Гетероферментативне
Streptococcaceae	Lactococcus Streptococcus	Cocci Cocci	Гомоферментативне Гомоферментативне

Молочнокислі бактерії належать до найважливіших груп мікроорганізмів, які використовуються для бродіння у виробництві харчових продуктів. Вони покращують смак і текстуру ферментованих продуктів, пригнічують ріст бактерії, що псують харчові продукти, виробляючи велику кількість молочної кислоти.

Виходячи з моделей бродіння цукру, існує дві широкі метаболічні категорії LAB: гомоферментативна та гетероферментативна. Гомоферментативний шлях виробляє в основному тільки молочну кислоту, тоді як гетероферментативний шлях виробляє вуглекислий газ і етанол або ацетат на додаток до молочної кислоти [404].

Гомоферментативні LAB включають деякі лактобактерії та більшість ентерококів, лактококів, педіококів, стрептококів, тетрагенококів і вагококів, які ферментують гексози шляхом гліколізу шляхом Ембдена-Мейєргофа-Парнаса. З іншого боку, гетероферментативні LAB ферментують пентози головним чином через фосфокетолазний шлях і включають лейконостоки, деякі лактобацили, енококи та види *Weissella* [404].

До технологічних особливостей LAB відносяться швидке виробництво молочної кислоти; зростання при різних температурах, концентраціях солей і значеннях рН; газоутворення з вуглеводів; активність каталази та гідроліз, пероксиду водню; зниження нітратів і нітритів; помірна протеолітична та ліполітична ферментативна активності; сумісність з іншими мікробними компонентами в комбінованих стартових культурах [405].

Проте, умови ферментації необхідно весь час контролювати, щоб уникнути надмірних точкових отворів, газових кишень і сторонніх присмаків, що є результатом утворення газу з вуглеводів. Крім того, виробництво перекису водню може призвести до небажаного окислення, відомого як позеленіння. Також, необхідно взяти до уваги, що протеолітична та ліполітична активності повинні бути помірними, щоб уникнути небажаних сенсорних змін.

Підбір стартових культур для підвищення якості м'ясних виробів здійснюється за технологічно відповідними ознаками. Автохтонна мікробіота

м'яса та інших м'ясних продуктів, а також мікробіота технологічного середовища виробничих одиниць може бути хорошою відправною точкою для ізоляції потенційних культур, оскільки ці штами добре адаптовані до м'ясного середовища [406].

Що стосується ролі LAB у складі м'ясних продуктів сухої ферментації, то вони беруть участь у коагуляції м'язових білків шляхом підкислення субстрату, що приводить до підвищення стабільності до нарізання, твердості та щільності кінцевого продукту. Крім того, вони сприяють утворенню аромату кінцевого продукту через формування помітного кислого та оцтового смаку. Існуючі кислі умови можуть підвищити також активність катепсину D, який відповідає за протеоліз м'язів.

При виборі стартових культур для м'ясних напівфабрикатів слід використовувати штами LAB та CNS з корисною метаболічною активністю та перевагами під час бродіння.

Використання коагулазонегативних стафілококів (CNS), як стартових культур сприяє адекватному розвитку забарвлення на основі їх нітратредуктазної активності. З іншого боку, їх каталазна активність зменшує окисне псування, а їхній метаболізм сприяє смаку. Смакогенеруючий потенціал CNS є навіть більш важливим при виробництві напівфабрикатів з низьким вмістом кухонної солі або з низьким вмістом жиру

Однак повний метаболічний потенціал CNS потребує подальших наукових досліджень з метою вивчення їх технологічних особливостей CNS. Крім сприяння утворенню аромату, *Staphylococcus* і *Kocuria* також забезпечують нітратредуктазну та антиоксидантну активність. Оpubліковано досить багато наукових робіт, в яких повідомляється про результати, отримані при використанні змішаних заквасок (LAB і CNS) [407].

Грампозитивні каталазопозитивні коки GCS, переважно непатогенні коагулазонегативні стафілококи (CNS), також мають важливе значення в процесі ферментації м'ясних виробів, оскільки вони покращують якість кінцевого продукту, стандартизуючи процес виробництва. Вони підвищують стійкість

кольору, сприяють розвитку смаку та зменшують псування. У таблиці 2 представлені види граммпозитивних каталазопозитивних коків GCC, що найчастіше виділяють із ферментованих м'ясних виробів [407].

Таблиця 2. Грампозитивні каталазопозитивні коки GCC та їх роль у процесі ферментації.

Родина	Рід	Вид	Метаболічна активність
Staphylococcaceae	Staphylococcus (CNS)	<i>S. xylosus</i> <i>S. carnosus</i> <i>S. equorum</i> <i>S. succinus</i> <i>S.saprophyticus</i>	Nitrate reductase Proteolytic Lipolytic Catalase
Micrococcaceae	Micrococcaceae	<i>M. luteus</i>  <i>M. lylae</i>	Nitrate reductase Antioxidative Catalase Lipolytic Proteolytic
Micrococcaceae	Kocuria	<i>K. varians</i> <i>K. kristinae</i>	Nitrate reductase Proteolytic Lipolytic

Вплив різних комбінацій препаратів (*Staphylococcus carnosus*, *Pediococcus pentosaceus* і *Lactobacillus sakei*) на якість турецької ферментованої ковбаси (*Sucuk*) було оцінено під час дозрівання та зроблено висновок про те, що використання ліполітичних заквасок (*S.carnosus/L.sakei*) має позитивний вплив на прискорення дозрівання та підвищення якості ферментованих ковбас [408].

Casquete та його колеги підкреслили важливість автохтонних заквасок у покращенні однорідності та безпечності ферментованих м'ясних продуктів без погіршення їх сенсорних характеристик. Крім того, вони підкреслили важливість вибору початкової формули, яка б складалась з комбінації штамів, яка підходить для певної процедури дозрівання [409].

Можна зробити висновок, що смак і аромат ферментованих м'ясних виробів виникає в результаті спільної дії різних бактерій. Бактеріальні культури виробляють молочну кислоту і невеликі кількості оцтової кислоти, етанолу і

ацетоїну; однак протеолітична та ліполітична активність як LAB, так і грампозитивних каталазопозитивних коків GCS, є важливою для сенсорної якості ферментованих м'ясних напівфабрикатів.

### **Висновки**

Аналітично обґрунтовано, що продовження терміну зберігання м'ясних дрібношматкових напівфабрикатів дасть можливість не лише уникнути процесів заморожування та розморожування м'ясних напівфабрикатів, але і значно розширити асортимент виробів з високими споживчими якостями, високою біологічною цінністю та ефективністю. Процеси ферментації, що проходять під впливом стартових культур не лише мінімізують розвиток умовно-патогенної мікрофлори через зниження рН та активності води  $a_w$ , але і значно впливатимуть на функціональність та сенсорні характеристики напівфабрикатів.

Фактично, використання стартових культур у виробництві м'ясних дрібношматкових напівфабрикатів може покращити їх сенсорні характеристики та сприяти їх біоконсервації та безпечності, продовженню терміну зберігання та підвищенню однорідності м'ясних продуктів.

Вибір препарату слід здійснювати в контексті його застосування, оскільки функціональність буде залежати від виду напівфабрикатів, застосованої технології, часу дозрівання, використовуваних інгредієнтів і сировини.

-Розробка технології двостадійної обробки дрібношматкових напівфабрикатів, з включенням стадії термічної обробки, дозволить досягнути вирішення таких основних цілей:

- подовження термінів зберігання та підвищення мікробіологічної стабільності м'ясних дрібношматкових напівфабрикатів;

- збільшення вмісту пробіотичних культур, частковий протеоліз м'ясної сировини та, як наслідок, збільшення біологічної доступності та ефективності даного продукту;

- отримання напівфабрикатів з м'яса птиці та зі свинини з вадами автолізу, з покращеними органолептичними, фізико-хімічними, структурно-механічними характеристиками та підвищеною харчовою та біологічною цінністю.



#### **6.4 Методика оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури в умовах впливу противника**

Анотація: основними цілями ракетно-дронових ударів російської федерації стали об'єкти критичної інфраструктури. Існуючі методики щодо оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури внаслідок своєї спеціалізації не дозволяють повністю їх здійснити.

В роботі автором запропонована методика оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури в умовах впливу противника, яка на відміну від існуючих методик враховує вплив противника, визначає першочергові цілі для ураження противника. Що дозволяє своєчасно організувати та здійснювати їх захист та оборону. Мінімізувати деструктивні наслідки у разі їх ураження.

Результати дослідження дозволяють будувати модель критичної інфраструктури з визначенням найбільш деструктивних сценаріїв катастроф та їх ключових об'єктів з урахуванням загроз і ризиків.

Дана робота буде корисна фахівцям, науковцям, дослідникам цивільної безпеки та критичної інфраструктури.

Ключові слова: критична інфраструктура, ракетно-дронові удари, захист критичної інфраструктури, виникнення надзвичайних ситуацій, методи оцінки загроз та ризиків, мінімізація наслідків надзвичайних ситуацій .

Територія України внаслідок технологічного розвитку та промислових завдань має багато різнотипних об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) по всій її території Рис.1,2. Вони мають великі розміри, площу і пов'язані про між собою технологічними функціями та процесами. Внаслідок цього їх неможливо повністю захистити засобами ППО і тому вони стали ціллю номер 1 для ракетно-дронових ударів противника. Особливо противник передбачає на вторинні наслідки катастроф внаслідок свого впливу.

# TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

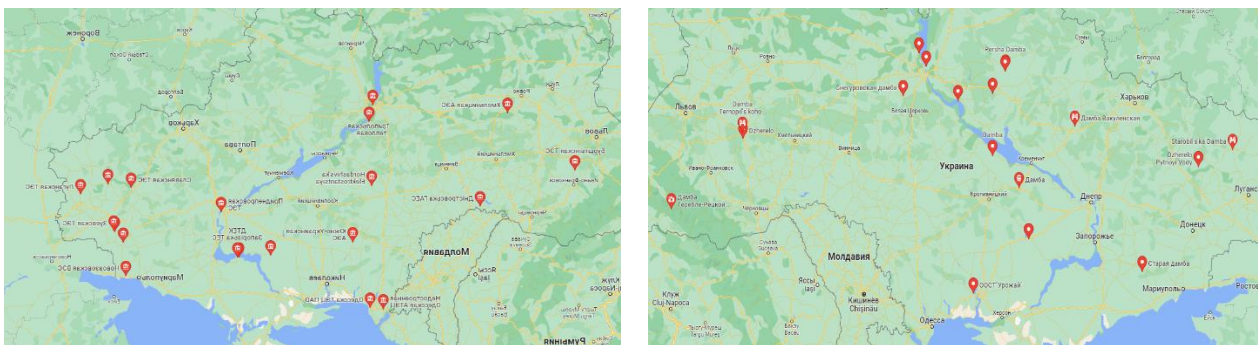


Рис. 1 Схема розташування електростанцій і дамб України.

Кожен з цих ОКІ несе в собі загрозу цивільному населенню, військовим підрозділам, які знаходяться в зоні його впливу. Деструктивні наслідки для держави та суспільства при ураженні зазначених об'єктів мають масштаб, як при застосуванні зброї масового ураження.

На даний час, основним стратегічним завданням противника є виведення з ладу об'єктів енергетики, що демонструють його масовані ракетно-дронові атаки. Слаба захищеність об'єктів, їх протяжність та великі розміри є легкою ціллю навіть при не дуже точному ураженні.

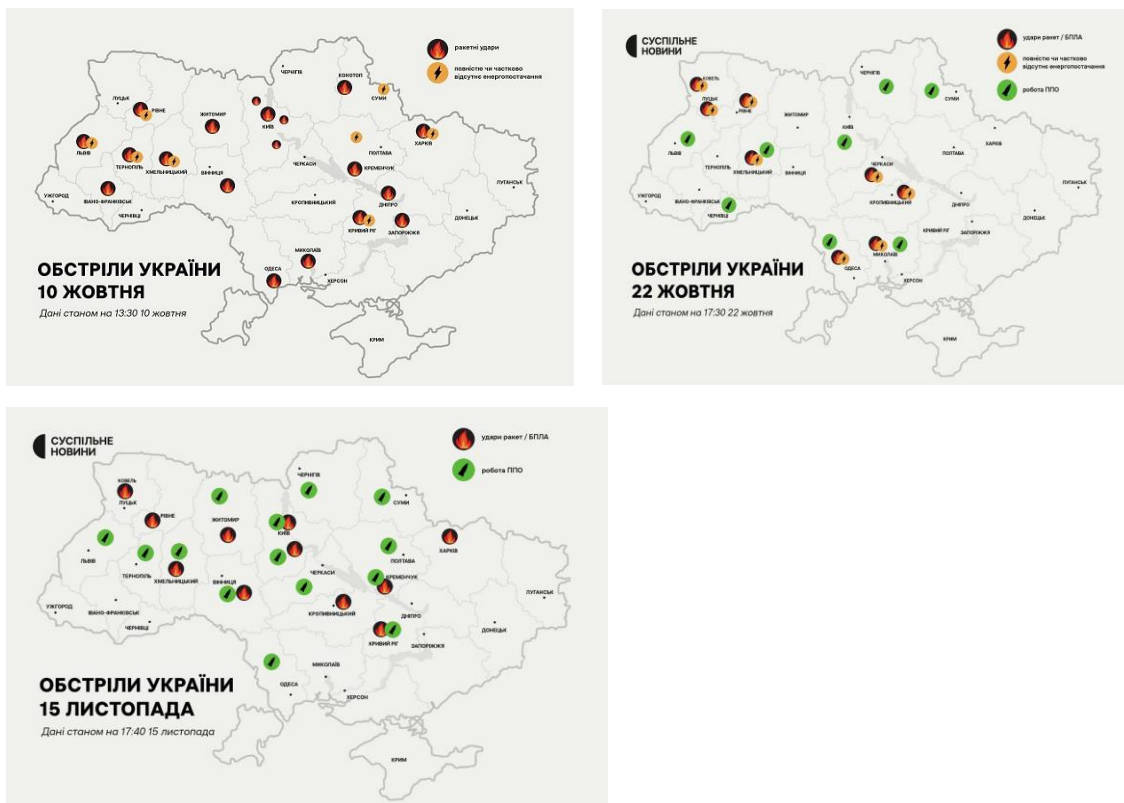


Рис. 2 Удари ЗС РФ по об'єктам критичної інфраструктури України 10, 22 жовтня та 15 листопада 2022 року.

Основна кількість методів, методик та алгоритмів запобігання та ліквідації катастроф на ОКІ є вузькоспеціалізованими та розроблені для мирного часу та мають більш техногенний напрямок, а не існуючий військовий.

Тому важливим науковим завданням є розробка методики, яка дозволить визначати загрози і ризики для об'єктів критичної інфраструктури внаслідок впливу противника. Здійснювати пріоретизацію їх, та отримувати інформацію для визначення найбільш загрозливих сценаріїв розвитку надзвичайних подій з метою їх мінімізації та ліквідації. Це дозволить бути на крок попереду противника і ефективно протидіяти його намірам щодо ураження та знищення ОКІ.

Так, ракетно-дроновими атаками впродовж 10-20 жовтня 2022 року було виведено з ладу 30% об'єктів електроенергетики. По всій Україні почались віялові відключення електроенергії Рис.3. Подальші подібні атаки ставлять під загрозу існування цілісної електричної системи України. 23 листопада 2022 року внаслідок суттєвого ураження системи енергетики, ракетний обстріл спричинив тимчасове знеструмлення всіх вітчизняних атомних станцій, а також більшості теплових та гідроелектростанцій. Уражені й об'єкти електропередач. Було знеструмлено переважну більшість споживачів електроенергії в усій країні. Відбулися аварійні відключення. Відсутність електроенергії вплинула на тепло- та водопостачання.

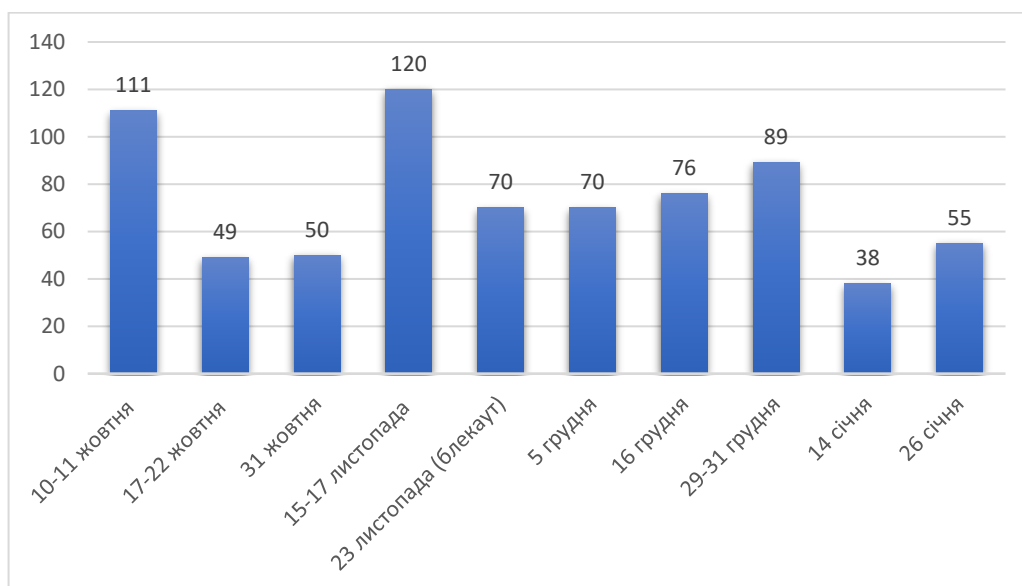


Рис.3 Хронологія ракетно-дронових ударів з жовтня 2022 по січень 2023 рр.

Також потенційними цілями ракетних ударів є великі шляхопроводи – мости, дамби, вузли автомобільних та залізничних сполучень, які також є об'єктами критичної інфраструктури. Ураження яких приведе до суттєвого погіршення соціо-економічної ситуації або викличе гуманітарно-техногенну катастрофу.

Попередніми дослідженнями в даному напрямку [410, 411, 412] створені передумови для розробки методики оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури внаслідок впливу противника. Наявність зазначеної методики дозволяє здійснювати моделювання (математичне, імітаційне), аналіз, оптимальний розподіл оцінок по ризикам і загрозам, що надає можливість у цілеспрямованому застосуванні сил і засобів щодо захисту та запобіганні глобальних катастроф, які призведуть до вагомих втрат особового складу та техніки. Крім того, безпосереднє знищення ключових ОКІ здатне суттєво ускладнити соціо-економічну сферу у державному масштабі.

Зазначена методика, буде містити в своєму складі методики [413, 414]: методику оцінювання загроз для об'єктів критичної інфраструктури в зоні ведення бойових дій та методику оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури внаслідок бойових дій. Кожна з них має свою чітко визначену функцію та послідовність.

Після застосування зазначених методик здійснюється формування сценаріїв розвитку подій та побудова моделей розвитку катастроф об'єктів критичної інфраструктури з розрахунками потенційних втрат та нанесених збитків.

Принципова схема Методики оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури наведена на Рис.3

Розглянемо її детально. Вона складається з чотирьох етапів:

1. Визначення об'єктів критичної інфраструктури;

2. Оцінювання загроз та ризиків для об'єктів критичної інфраструктури в зоні ведення бойових дій;
3. Формування каталогу загроз та ризиків для об'єктів критичної інфраструктури та аналіз отриманої інформації по заданим параметрам;
4. Формування сценаріїв розвитку подій, побудова моделей (у вигляді орграфів) розвитку катастроф об'єктів критичної інфраструктури;
5. Результатом буде прийняття обґрунтованого рішення по розподілу сил засобів щодо охорони та оборони об'єктів критичної інфраструктури їх пріоритет та розташування (переміщення) сил і військ в зоні ураження потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури. Визначення районів майбутніх катастроф та вжиття попередніх безпекових заходів.



Рис. 3 Схеми методик оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури.

### **Перший етап.**

На першому етапі йде процес формування бази даних об'єктів критичної інфраструктури. Чітко визначеного переліку зазначених об'єктів немає, він буде виходити із обстановки що склалася, району ведення бойових дій, районів вогневого впливу противника. Основним об'єктами як правило будуть [415]: об'єкти енергетики; об'єкти нафтопереробної промисловості; об'єкти хімічної промисловості; система логістики, мости, дамби; системи та об'єкти зв'язку; об'єкти соціально-побутової сфери; окремо слід зазначити об'єкти підвищеної небезпеки – при руйнуванні або припиненні функціонування яких будуть катастрофічні деструктивні дії. Крім того, необхідно враховувати комплексні дії об'єктів критичної інфраструктури, це коли один об'єкт сам по собі не несе загрози але у взаємодії з іншими має високий потенціал загроз та їх катастрофічних наслідків.

### **Другий етап.**

На другому етапі здійснюється оцінювання загроз та ризиків для об'єктів критичної інфраструктури в зоні ведення бойових дій. Детально ці питання розглянуті у моделі оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури, методика оцінювання загроз для об'єктів критичної інфраструктури в зоні ведення бойових дій, методика оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури внаслідок бойових дій.

На підставі отриманих даних першого етапу, будується орграф розвитку катастроф внаслідок знищення/ураження ОКІ, здійснюються розрахунки оцінки чисельного результату імовірності ураження ОКІ ракетно-артилерійськими ударами. Визначається ступінь їх ураження. Будується схема орграфа розвитку катастроф з урахуванням імовірностей виникнення катастроф Р і деструктивно-кумулятивних потенціалів D з урахуванням районів ведення бойових дій, районів розвитку катастроф, ступеню захисту ОКІ.

### **Третій етап.**

Третій етап відповідає за формування каталогу загроз та ризиків для ОКІ. Буде здійснюватися аналіз отриманої інформації по заданим параметрам зброї противника щодо ураження певних цілей (ОКІ) у визначених районах. В цілому на даному етапі буде сформовано основне інформаційне ядро по характеру загроз і ризиків ОКІ, їх способів ураження. Це дозволить визначити сили та засоби протидії атакам противника. Характер та стратегію захисту ОКІ, які ресурси необхідно буде застосовувати та їх можливості. По змісту це буде відправною точкою побудови захисту ОКІ та протидії засобам ураження противника, характеру та фізичній природі катастрофічних наслідків руйнування ОКІ. На прикладі агресії РФ проти України станом на жовтень 2022 року є широке застосування дронів-камікадзе Shahed 136. Вони стали застосовуватись з вересня 2022 року. Були нанесені значні збитки ОКІ, внаслідок цього здійснено перебудову системи ППО. По всій державі впровадились віялові відключення електроенергії в зв'язку зі знищеним 30% об'єктів електроенергетики.

### **Четвертий етап.**

Підсумковий четвертий етап дозволяє будувати та розраховувати сценарії розвитку подій у вигляді орграфів у випадку катастроф ОКІ. Такі схеми (орграфи) будуються для усіх ОКІ, які об'єднуються в одну загальну схему. Вони мають відповідні сфери (екологічні, енергетичні, соціальні, і т.д.) розвитку подій, які корельовані проміж собою. Після побудови загальної схеми здійснюється обрахування деструктивно-кумулятивних потенціалів та визначаються найбільш критичні сценарії та вузлові події. На схемі будуть показані шляхи розвитку деструктивних подій у різних сферах внаслідок катастрофи: енергетичній, екологічній, логістичній та всі вони призводять до економо-соціальної кризи. Маючи в собі ознаки деструктивно-кумулятивного потенціалу об'єкту критичної інфраструктури. Застосовуючи значення деструктивно-кумулятивних потенціалів D, можливо визначити ключові ОКІ, здійснити пріоретизацію каталогу ОКІ. Будуть визначено найбільш критичні за ризиками сценарії

розвитку катастроф на ОКІ. Виходячи з характеру бойових дій та ракетно-авіаційних ударів здійснити оптимальне перегрупування сил і засобів ППО, визначити райони техногенних катастроф для своєчасної евакуації військ і сил, цивільного населення. Зосередити основні зусилля по обладнанню захисту та підтримання життєдіяльності визначених ОКІ.

Усі зазначені етапи мають зворотній зв'язок і при надходженні нових даних або виникненні непередбачуваних подій можливо здійснити перерахунки на відповідних рівнях. Це в цілому логічно і передбачувано.

Після опрацювання усіх чотирьох етапів методики буде отримано достатньо інформації для прийняття управлінських рішень [416], впровадження відповідних заходів безпеки і оборони, здійснення оптимального розподілу сил і засобів. В залежності від зміни оперативно-стратегічної обстановки будуть здійснені поточні уточнення та розрахунки. Такий циклічний порядок дозволить оперативно реагувати на зміни в обстановці, здійснити оптимальне застосування ресурсів, які будуть в розпорядженні і запобігти глобальним військово-техногенним та соціо-гуманітарним катастрофам.



## **6.5 Застосування метода дискретно-імпульсного введення енергії в технологіях обробки крохмалевмісної сировини**

Згідно з Міжнародною стандартною галузевою класифікацією всіх видів економічної діяльності (ISIC – International Standard Industrial Classification of All Economic Activities) харчові виробництва віднесено до розділу обробної промисловості, самостійними підрозділами в якій виділено виробництво харчових продуктів, виробництво напоїв і виробництво тютюнових виробів; в підрозділі харчових виробництв виділено 13 галузей, зокрема молочна, масложирова, крохмальна, хлібобулочна, цукрова, макаронна, виробництва готових до споживання страв, виробництво кормів для худоби. Виробництво напоїв охоплює виробництво безалкогольних напоїв та мінеральної води, виробництво алкогольних напоїв, що отримуються переважно шляхом зброджування, пива та вина, виробництво дистильованих алкогольних напоїв.

Все різноманіття технологій харчової промисловості пов'язане з реалізацією процесів, що можна поділити на чотири основні групи: механічні, гідромеханічні, теплові та масообмінні. Наразі, на стадії становлення знаходиться великий та перспективний розділ технології-біотехнологія [417].

До основних процесів в харчових технологіях можна віднести перемішування, гомогенізацію, диспергування, емульгування, нагрівання. Одним з пріоритетних напрямків вдосконалення технологій в харчовій промисловості є ефективне поєднання декількох процесів та інтенсифікація цих процесів в часі та за ступенем впливу.

До методів, що дозволяє успішно вирішувати задачу інтенсифікації цих процесів можна віднести метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ), розроблений в Інституті технічної теплофізики НАН України [418]. Метод реалізується в декількох видах обладнання, найпоширенішим з яких є роторно-імпульсійний апарат (РПА), або high shear mixer (HSM), high shear reactor (HSR), rotor-stator mixer, high shear homogenizer в англійській літературі. РПА, зазвичай, складається з розташованих в корпусі співвісних статора (-рів) та

ротора (-рів) у формі обичайок з прорізними в них наскрізними отворами прямокутної форми [419].

В харчовій промисловості традиційним є використання РПА для одержання емульсій як з високою так і з низькою в'язкістю (заправки для салатів, соуси, творожні плодоовочеві та кисломолочні десерти, пюре, соуси, креми). У цих продуктах РПА також допомагають диспергувати згущувачі. РПА також використовуються для диспергування штучних підсолоджувачів. Застосовуються РПА для обробки як однофазних, так і для багатофазних систем. У однофазних системах вони дуже ефективні для змішування рідин різної в'язкості (наприклад, кукурудзяний сироп і вода); у багатофазних системах їх використовують для емульгування рідин, що не змішуються (наприклад, майонез), для деагломерації та рівномірного диспергування наночастинок у рідини (наприклад, сіль і цукор у воді, кукурудзяне борошно у воді), а також суспендування дрібних бульбашок повітря (наприклад, в морозиві) [420].

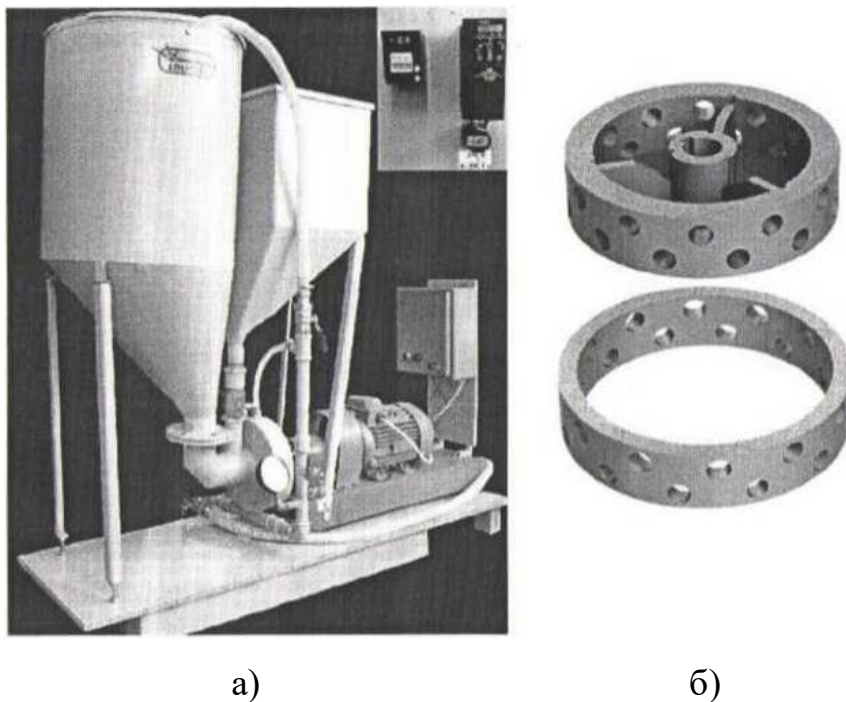
В різні роки метод ДІВЕ було застосовано в технології виробництва стуженого молока [421], для інтенсифікації виробництва глюкозно-фруктозних сиропів [422], на основі методу розроблено і впроваджено технологію приготування гомогенізованої соєвої пасти для дитячого харчування [423-425] тощо.

Одним з найважливіших видів харчової сировини є зерно злакових культур. Зерно злаків є вихідною сировиною для низки харчових виробництв, його попередня обробка для вивільнення крохмалю та інших поживних речовин є обов'язковою стадією.

Дослідження впливу обробки крохмалевмісної сировини методом ДІВЕ полягали у визначенні залежностей її якості обробки від наступних чинників:

- фізичні фактори (кутова швидкість обертання ротора, швидкість потоку середовища, зазор між ротором і статором, частота пульсацій, кількість циклів обробки) на середньоповерхневий розмір часток;
- вплив теплових ефектів на її дисперсність.

Дослідження проводили на експериментальній установці, зовнішній вигляд якої представлено на рис. 1.



а) б)  
Рис. 1 Експериментальна установка по визначенню впливу обробки крохмалевмісної сировини методом ДІВЕ на її якісні властивості:  
а) зовнішній вигляд установки; б) роторно-статорний вузол.

На першому етапі експериментів змінювали кутову швидкість обертання ротора і кількість циклів обробки. Кутову швидкість обертання ротора змінювали за допомогою частотного перетворювача. У таблиці 1 показано залежність зміни середньоповерхневого розміру часток від кутової швидкості обертання ротора і кількості циклів обробки водозернової суміші. Зазор між статором і ротором становив 500 мкм.

Дані таблиці дозволяють зробити висновок про те, що зі збільшенням кількості циклів обробки і кутової швидкості, середньоповерхневий розмір часток зернової сировини, що обробляється, зменшується.

Таблиця 1. Залежність середньоповерхневого розміру часток зернової сировини від кутової швидкості і кількості циклів обробки

№ проби	Кількість циклів	Кутова швидкість, $c^{-1}$	Середньоповерхневий розмір часток, мкм
1	3	180	700
2	5		570
3	10		500
4	20		420
5	30		350
1	3	300	660
2	5		510
3	10		400
4	20		310
5	30		260
1	3	420	640
2	5		480
3	10		390
4	20		280
5	30		220

У подальших дослідженнях вивчали вплив товщини зазору між статором і ротором на процес диспергування. Кутова швидкість була незмінною і становила  $300 c^{-1}$ .

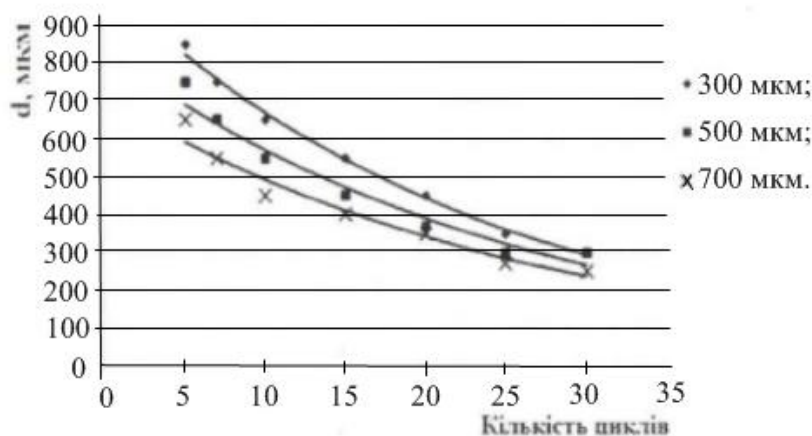


Рис. 2 Залежність середньоповерхневого розміру часток зернової сировини від товщини зазору і кількості циклів обробки

Криві, наведені на рис. 2, вказують, що зі зменшенням зазору між статором і ротором та збільшенням кількості циклів обробки, середньоповерхневий розмір часток зменшується.

На процес диспергування впливає кількість твердої фази в середовищі, що обробляється [426]. Для вивчення цього питання були проведені експерименти по визначенню впливу вмісту твердої фази на середньоповерхневий розмір часток. Вміст твердої фази в суміші становив 10, 30, 50 % від маси водозернової суміші.

Дослідження проводили при кутовій швидкості обертання ротора  $300 \text{ c}^{-1}$ , зазорі між ротором і статором 500 мкм, частоті пульсацій 3 кГц. Дані експериментів представлені на рис. 3.

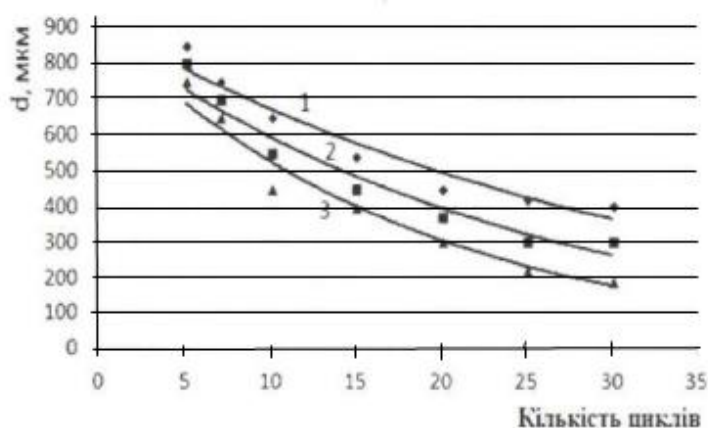


Рис. 3 Залежність середньоповерхневого розміру часток зернової сировини від кількості твердої фази і циклів обробки

З графіків видно, що зі збільшенням кількості твердої фази і циклів обробки, середньоповерхневий розмір часток зменшується. Найбільш ефективно обробляти зернову сировину з вмістом твердої фази 50 %. При цьому після 20 циклів обробки всі частки мають середньоповерхневий розмір менше 300 мкм. Це пояснюється тим, що при обробці суміші ударні навантаження виникають не тільки за рахунок контакту твердих частинок з робочими поверхнями РПА, а й один з одним. Чим більше твердої фази в суміші, тим більші ударні навантаження частинок між собою.

Відомо, що в ряді технологій пов'язаних з переробкою зерна його попередньо замочують [427].

У процесі замочування зерна досягається мета зміни структури білка, який зв'язує зерна крохмалю, ослаблення зв'язків зерен крохмалю, перетворення оболонки зерна з напівпроникну в повністю проникнену [428]. Замочування

зерен – це один зі способів його розм'якшення. Зерно в воді вбирає вологу і збільшується в об'ємі, гідратація клітковини оболонки підвищує її еластичність. Вода створює між складовими частинами зерна шари, які проявляють змащувальні і розклинюючі дії, що значно послаблює зв'язки між оболонками, зародком і ендоспермом. При проведенні експериментів зерно замочували при температурі 40-48 °С протягом 24-48 годин до вологості 35-45 %.

Встановлено, що під час замочування в розчин переходить 5-7 % розчинних речовин зерна. Тому при обробці водозернової суміші в РПА використовували отриманий розчин після замочування зерна.

Обмеження температури замочування до 48 °С пов'язане з можливим початком клейстеризації крохмалю, що міститься в зерні.

Замочене зерно з вологістю 35-45 % обробляли разом із отриманим розчином після його замочування в РПА до середнього діаметру частинок 300 мкм. Паралельно з цим було проведено дослідження по обробці водозернової суміші в РПА з незамоченим зерном.

Залежність зміни середнього діаметра частинок водозернової суміші від кількості циклів обробки і вологості представлена на рис. 4.

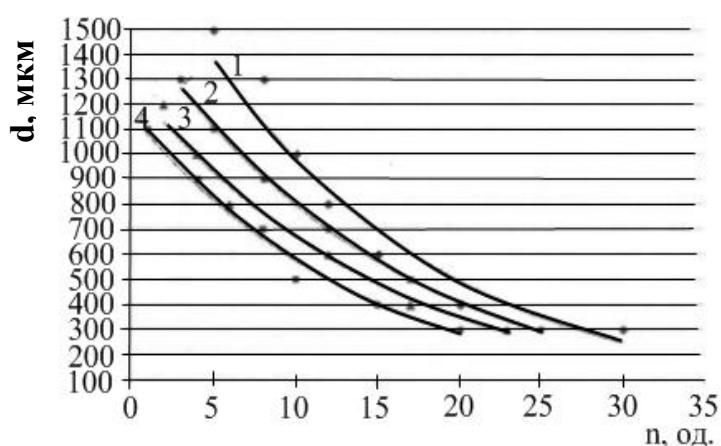


Рис. 4 Залежність зміни середнього розміру часток водозернової суміші від кількості циклів обробки та вологості зерна:

1 – 12 %; 2 – 35 %; 3 – 40 %; 4 – 45 %.

Крива 1 на рис. 4 відповідає обробці суміші незамоченого зерна вологістю 12 % з водою. Криві 3, 4, 5 відповідно замоченого зерна до вологості 35, 40 та

45 % відповідно. Встановлено, що збільшення вологості зерна в результаті замочування дозволяє зменшити кількість циклів обробки від 30 до 20-23 одиниць для досягнення середнього діаметра частинок 300 мкм.

У подальших дослідженнях було визначено вплив вологості замоченого і незамоченого зерна на зміну температури при обробці в РПА (рис. 5).

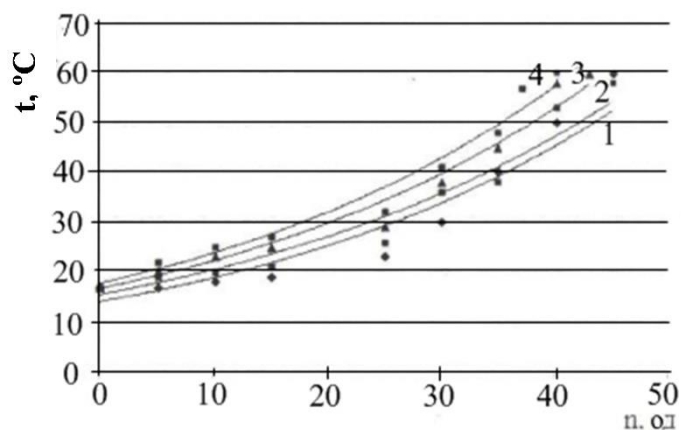


Рис. 5. Залежність зміни температури водозернової суміші від кількості циклів при вологості зерна: 1 – 12 %; 2 – 35 %; 3 – 40 %; 4 – 45 %.

З даного рисунку видно, що загальна тенденція всіх кривих спрямована на підвищення температури суміші зі збільшенням кількості циклів обробки. Від 5 до 25 циклів обробки температура суміші підвищується набагато менше, ніж від 25 і вище. Це пояснюється тим, що в початковий період обробки дисперсність не дуже велика. Зі збільшенням кількості циклів обробки понад 25, розмір часток стає рівним 300-500 мкм.

При такому розмірі частинок і температурі 30-35 °C відбувається початок клейстеризації крохмальних зерен, що різко підвищує в'язкість середовища. З підвищенням в'язкості зростає енергія дисипації і, як наслідок, збільшується температура. Чим більше вологість зерна, тим воно стає більш набряклим, міжмолекулярні зв'язки слабшають і процес диспергування проходить швидше. Отже, швидше проходить клейстеризація крохмалю і швидше підвищується температура. Зі збільшенням вологості зерна від 12 до 45 % при 30 циклах обробки температура підвищується від 30 до 40 °C.

За результатами проведених експериментів можна зробити висновки про те, що попереднє замочування зерна протягом 48 годин водою з температурою

45 °С, позитивно впливає на подальшу його переробку в РПА. На 20-25 % знижується тривалість диспергування, в 1,2-1,3 рази швидше проходить підвищення температури суміші і на 15-20 % знижується споживана потужність РПА. Зменшення кількості циклів обробки призводить до зниження тривалості процесу диспергування і зниження енерговитрат [429].

Результати досліджень дозволили вдосконалити технологію приготування суслу спиртового виробництва [430].

Додавання в технологічну схему роторно-пульсаційного апарата дозволило знизити енерговитрати на 30 % в процесі розварювання, скоротити тривалість процесу в два рази, зменшити втрати зароджуваних речовин від 8-10 % до 2-4 %, збільшити вихід спирту з одиниці сировини на 1,5-3,0 %.

Диспергування крохмалевмісної сировини та її розварювання є також етапами виробництва рідких кормів для худоби, зокрема свиней. Основну частину комбікорму складають зернові злакові, оскільки в них в значних кількостях містяться такі життєво важливі елементи: вуглеводи, мінеральні речовини, вітаміни. Вдосконалення технології приготування рідких кормів шляхом використання РПА в якості диспергатора-змішувача водозернової суміші призвело до значного економічного ефекту [431, 432].

### **Висновки**

Метод дискретно-імпульсного введення енергії, як метод, що інтенсифікує процеси тепло- і масопереносу в двох- або багатокомпонентних системах “газ-рідина”, “рідина-тверде тіло” знайшов широке застосування в різних галузях промисловості, зокрема харчовій. Застосування метода ДІВЕ дозволяє знизити енергетичні витрати на проведення процесів перемішування, гомогенізації, диспергування, емульгування, нагрівання, знизити тривалість цих процесів, зменшити кількість обладнання.



**SECTION 7. MECHANICAL ENGINEERING**

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.7.1

**7.1 Accounting method of the propfan cowling resistance when calculating the effective thrust of ducted propfan**

In aviation and aeronautics, the propeller as a propulsion has long been known. The theory of the modern propeller is based on the works of many scientists. It is known that until the 40s of the 20th century, as a propulsion in aircraft power plants, the propeller occupied a monopoly position. However, even after the advent of turbojet and then bypass engines, up to now, at moderate flight speeds ( $M < 0.8$ ), the propeller has no competitors in terms of efficiency. Propfans are the further development of propellers. Propellers, as a rule, have from two to five blades. Fans in turn, have from 19 and over. An intermediate position is occupied by propfans. As propulsion, propfans have from 5 to 18-19 blades.

One of the important directions in the improvement of propellers and propfans is to increase the efficiency. Modern engine building identifies a number of areas of research to improve the efficiency of propellers and propfans. First of all, this is the reduction of inductive axial and circumferential losses in the flow downstream of propeller (propfan). An important role is also played by the reduction of profile losses. When carrying out measures to reduce profile losses, more advanced aerodynamic profiles are used in the sections of propeller (propfan) blades. Reduction of circumferential inductive losses is facilitated by the use of contra-rotating propellers, or by installing outlet guide vanes or struts at the propeller (propfan) outlet. It is also possible to improve the propeller design by installing guide vanes at the inlet.

The minimization of axial inductive losses is facilitated, at a given thrust, by the rejection of a larger mass of air by propeller (propfan) at a lower speed. This effect can be realized by increasing the diametrical dimensions of the propeller (propfan). But with an increase in the diametrical dimensions of propeller, the weight of propeller will increase, which can adversely affect the aircraft performance and lead to a decrease in efficiency. Also, with increased diameter of propeller, a problem may arise with its

integration on the aircraft. One of the possible ways to solve the problem of reducing the hydraulic losses of propeller and propfan is the use of ducted propellers (propfans). The cowling of ducted propfan is a profiled ring. The main advantage of a ducted propfan over an open propfan (propeller) is a significant increase in thrust for the same power expended. When flowing around a ducted propfan, a significant suction force arises on the nose of profiled cowling, the projection of which on the direction of movement provides a positive thrust of cowling. In addition, the presence of a cowling, as a natural blade enclosure, leads to a decrease in the tip losses of propfan. The problem of additional weight of propeller due to the presence of cowling is solved by using lightweight composite materials in its design.

For the next generation of aircraft engine families, further reductions in fuel flow rate and emissions, as well as a reduction in acoustic emissions, are required. One of the promising directions in the development of engine building is the development of ducted turbopropfan engines with an open or ducted propfan with high or ultra-high bypass ratio. Turbopropfan engines have high fuel efficiency compared to other gas turbine engines. The presence of an open propfan results in increased acoustic radiation from the power plant. However, the use of ducted propfan, to some extent, allows us to solve the issue of noise reduction. In addition, as shown by the results of the study [433], the presence of a cowling can significantly increase the thrust of the propfan. In addition, it is also worth noting that when calculating the performance of ducted propfan for a turbopropfan engine with high or ultra-high bypass ratio, the issues of developing a method for taking into account the resistance of the propfan cowling remain relevant.

The paper [434] presents a review of published works on ducted fans (propfans) for aircraft. Early and recent experiments with full-sized or model ducted fans (propfans) are considered. Theoretical studies, lower order simulations, and high-precision CFD simulations are also summarized. Test matrices of several experimental and numerical studies are compiled and discussed. The authors proposed a vision of the problems of future studies of ducted fans. The presented results show the advantages and disadvantages of ducted propfans, however, the authors omit

consideration of issues related to installed thrust, effective thrust calculation methods for ducted propfans and fans.

The authors of work [435] proposed a method for optimizing a ducted propfan in order to increase thrust. However, when calculating, the authors did not take into account the resistance of cowling.

Paper [436] presents a method for simulation of ducted fan propulsion systems for small hybrid electric aircraft based on average flow analysis methods. Studies of key design parameters provide a basis for discussion of potential advantages over free propellers, as well as possible new applications for the ducted fan. The performance of the fan is obtained using the methods of analysis of the average aerodynamic flow and semi-empirical loss correlations. Physics-based methods are applied to evaluate the nacelle resistance and noise level. Variable ducted fan designs are being studied to determine the main trade-offs and favorable designs to implement the intended purpose of the aircraft, with particular attention to noise. In work [436], the authors pay special attention to the calculation of the nacelle resistance for overall assessment of the results of parametric studies in the ducted fan geometry. However, due to the complex interaction with the aerodynamics of the aircraft, the authors make only an initial estimate, mainly taking into account the contribution of additional resistance, friction resistance, and rear (tail) resistance.

The paper [437] presents the results of testing of two engines with a high bypass ratio. It is shown that the engines demonstrate a rather high resistance of the engine nacelle and pylon, as well as an increase in resistance with an increase in engine thrust. This indicates that the engine nacelle resistance must be taken into account when calculating the installed engine thrust.

In work [438], a review of various concepts of power plants with a high bypass ratio with a single-row and double-row ducted propfan is made. This took into account such important aspects as the specific fuel consumption at cruise flight speeds, including the resistance of the nacelle, the main geometric dimensions, weight, installation conditions and especially noise data. The authors emphasize that the value

of the cowling resistance parameter is greatly influenced by the ratio of the inlet and maximum cowling diameters.

The paper [439] presents the results of flow simulation for evaluating the thrust of a ducted and open coaxial propfan, which were carried out under the same flight conditions. The results of the study showed that the presence of a cowling gives a fairly significant increase in thrust; the thrust of a coaxial propfan increases by 82%. Increasing the thrust of a ducted coaxial propfan makes it possible to reduce the rotational speed of the propfan to provide thrust similar to that of an open propfan, which will lead to an improvement in the acoustic characteristics of the propfan. Also, the authors note that the reduction of acoustic radiation can be achieved by placing sound-absorbing structures in the cowling. However, in the calculations, the authors did not take into account the resistance of the coaxial propfan cowling.

An analysis of the material presented in works [433-439] shows that the development of a method for taking into account the cowling resistance when calculating the effective thrust of a ducted propfan is an urgent scientific and applied task.

The object of research in this work is a ducted propfan for a turbopropfan engine with high and ultra-high bypass ratio.

Ducted propfan thrust  $R$  is the thrust that a ducted propfan would develop if its external flow around it were ideal (i.e. without friction, flow separations and shock waves). To determine the thrust, the formula of B.S. Stechkin [440] can be used:

$$R = G_2 c_2 - G_1 V + (p_2 - p_H) F_2, \quad (1)$$

where  $G_1, G_2$  – is airflow at the inlet and outlet of ducted propfan,  $c_2, V$  is the axial flow velocity at the ducted propfan outlet and flight speed,  $F_2$  is the area of the flow section at the ducted propfan outlet,  $p_2, p_H$  is the pressure at the ducted propfan outlet and atmospheric pressure.

With full expansion of gas in the nozzle to atmospheric pressure ( $p_2 = p_H$ ) and with a constant air flow through the inlet and exhaust sections, this thrust formula takes the following form:

$$R = G_1(c_2 - V). \quad (2)$$

However, during the aircraft flight, resistance forces will act on the cowling, which reduces the thrust force of the ducted propfan.

When calculating the effective thrust  $R_{ef}$  of a ducted propfan, all external resistances created by the cowling are taken into account.

According to the physical meaning,  $R_{ef}$  is the resultant of all pressure and friction forces acting on the elements of the flowpath from the side of air flowing through the ducted propfan from the inside, and the external air flowing around the ducted propfan from the outside. The task of determining the effective thrust of a ducted propfan is reduced to finding the vector sum of all these forces. These forces can be conditionally divided into internal and external.

Internal forces are the sum of pressure and friction forces acting on the working surfaces of the ducted propfan from the side of air flowing through the ducted propfan.

External forces are a combination of pressure and friction forces acting on the ducted propfan from the side of the external flow around it. These forces significantly depend on the size and shape of the cowling, as well as its installation.

Let us consider the in-flight flow around the ducted propfan (Fig. 1), when the flight velocity vectors  $V$  and the speed of air outflow from the cowling outlet section are parallel to the propfan axis.

The sections in the undisturbed flow in front of the ducted propfan, at the inlet to the propfan and at the outlet from the cowling are denoted by H-H, 1-1 and 2-1. Accordingly, the areas of these normal sections will be  $F_H$ ,  $F_1$  and  $F_2$ . The outer surface of the cowling is conditionally divided into three parts: face part 1-M, central part M-M' and aft part M' -2.

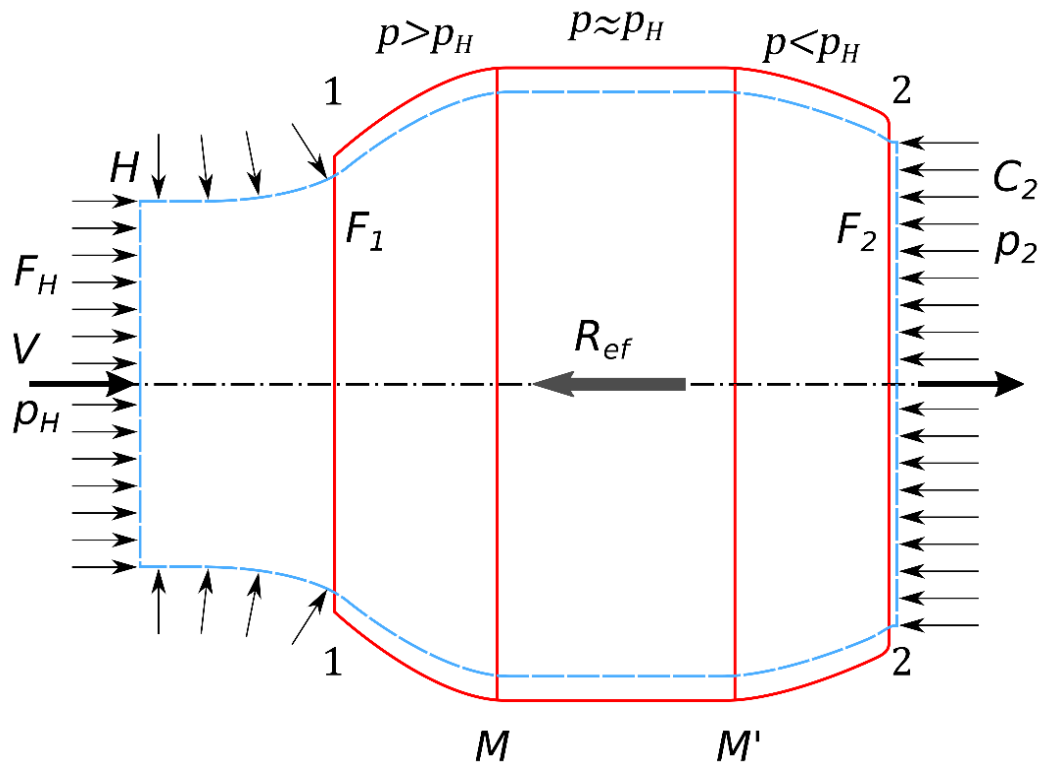


Figure 1. Diagram of airflow around the ducted propfan.

Ram airflow is divided by the flow surface H-1 into an internal one, passing through the propfan, and an external one, flowing around the ducted propfan from the outside.

The main reason for the appearance of external resistance of the ducted propfan is the increase in pressure on the face zone of the cowling 1-M ( $p > p_H$ ) and the presence of depression on its aft zone of the cowling M - c ( $p < p_H$ ). To this is added resistance from friction forces over the entire surface of the cowling from section 1-1 to section 2-2.

The effective thrust of the power unit is the following vector sum

$$\vec{R}_{ef} = \vec{P}_{in} + \vec{P}_{out}, \quad (3)$$

where  $\vec{P}_{in}$  is the resultant of forces of air pressure and friction acting on the inner surfaces of the ducted propfan,  $\vec{P}_{out}$  is the resultant of forces of pressure and friction acting on the outer surface of the cowling.

The force  $\vec{P}_{out}$  can be determined by directly integrating the forces of pressure and friction over the outer surface of the cowling. Then

$$\vec{P}_{out} = \int_1^2 \vec{p}dF + \vec{X}_{fr\Sigma}, \quad (4)$$

where  $\int_1^2 \vec{p}dF$  and  $\vec{X}_{fr}$  are the resultants of forces of pressure and friction applied to the outer surface of the cowling.

We will determine the value  $\vec{P}_{in}$  using Euler theorem. To do this, we select the volume of the air jet, limited by the following control surface (Fig. 1): on the left, by the H-H section; between sections H - H and 1 - 1 by side surface of the jet; between sections 1 - 1 and 2 - 2 by the inner surface of the cowling, and on the right, at the outlet of the ducted propfan, by section 2-2. On Fig. 1, the boundaries of this control surface are indicated by a dotted line. Let's reject the gas outside the control surface from the H-H section to section 1-1 and in section 2-2 and replace its effect on the air inside this surface by pressure forces.

The ducted propfan acts on the air flowing through it with a force  $P_{in}$  that is equal in absolute value to the force  $P_{in}$ , but directed oppositely to it. Then, according to Euler theorem

$$\vec{p}_H F_H + \int_H^1 \vec{p}dF + \vec{P}'_{in} + \vec{p}_2 F_2 = G_2 \vec{c}_2 - G_1 \vec{V}, \quad (5)$$

where  $\vec{p}_H F_H$  and  $\vec{p}_2 F_2$  are pressure forces applied to the end surfaces of the selected zone of the jet;  $\int_H^1 \vec{p}dF$  is the resultant of the pressure forces applied to the side surface of the jet in the zone H – 1;  $G_2 \vec{c}_2$  is the amount of movement at the outlet of the control surface, and  $G_1 \vec{V}$  is the amount of movement at the inlet of it. Moreover, in equations (4) and (5)  $dF$  is the area of projection of the element of the control surface or the surface of the cowling on a plane perpendicular to the direction of flight.

As  $\vec{P}_{in} = -\vec{P}'_{in}$ , then from formula (5) we obtain

$$\vec{P}_{in} = \vec{p}_H F_H + \int_H^1 \vec{p} dF + \vec{p}_2 F_2 - G_2 \vec{c}_2 + G_1 \vec{V}. \quad (6)$$

Substituting (4) and (6) into (3), we determine the effective thrust of the ducted propfan

$$\vec{R}_{ef} = \vec{P}_{in} + \vec{P}_{out} = \vec{p}_H F_H + \int_H^1 \vec{p} dF + \vec{p}_2 F_2 - G_2 \vec{c}_2 + G_1 \vec{V} + \int_1^2 \vec{p} dF + \vec{X}_{fr\Sigma}. \quad (7)$$

After transformations, we obtain:

$$\vec{R}_{ef} = \vec{p}_H F_H + \int_H^2 (\vec{p} - \vec{p}_H) dF + \vec{p}_2 F_2 - G_2 \vec{c}_2 + G_1 \vec{V} + \vec{X}_{fr\Sigma} - \vec{p}_H F_H - \vec{p}_H F_2. \quad (8)$$

When projecting the resulting expression (9) on the direction of flight, we obtain

$$R_{ef} = G_2 c_c - G_1 V + (p_2 - p_H) F_2 - \int_H^2 (p - p_H) dF - X_{fr\Sigma}. \quad (9)$$

The first three terms of formula (9) are the formula for determining thrust (1), so we transform expression (9) as follows

$$R_{ef} = R - X_{duct}. \quad (10)$$

That is, we can say that the effective thrust of the ducted propfan is equal to the thrust of the propfan minus the external resistance of the cowling, equal to

$$X_{duct} = \int_H^2 (p - p_H) dF - X_{fr\Sigma}.$$

External resistance of the ducted propfan

$$X_{duct} = \int_H^2 (p - p_H) dF - X_{fr\Sigma}$$



is due to the action on its outer surfaces of the forces of gauge pressure and friction. The first term on the right side represents the resistance from gauge pressure forces acting on the outer surface of the cowling. The second term is due to the friction resistance, i.e.  $X_{duct} = X_{p\Sigma} - X_{fr\Sigma}$ .

The proposed method has been tested for calculating the effective thrust of the ducted propfan with 8 blades. The diameter of the propfan hub is 0.6 m, the end diameter of the propfan is 2.924 m. Figure 2 shows a solid model of the studied ducted propfan, the length of the cowling is 2 m.



Figure 2. Solid model of the ducted propfan.

The numerical experiment has been used to simulate the flow in the ducted propfan. Operation mode: altitude  $H=11$  km, the ducted propfan rotational speed is 1.550 rpm, inlet Mach number  $M=0.6$ .

For the studied ducted propfan, the cowling resistance is  $X_{duct}$  that is equal to 2070 N, thrust force at the design mode is 14863 N. Using formula (10) we obtain the effective thrust force of the ducted propfan that is 12793N:

$$R_{ef} = R - X_{duct} = 14863 - 2070 = 12793 \text{ N} = 12.793 \text{ kN.}$$

Thus, the paper presents and tests a method for taking into account the cowling resistance when calculating the effective thrust of the ducted propfan.

## **7.2 Power quality assesment of hydro-pneumatic shock-absorber of single- and two-tube design**

When the vehicle on a high speed collides with road unevenness its shock-absorbers of one- and two-tube design, especially front ones, are undergone to powerful shock influence with subsequent considerable growth of pressure overfull of working liquid and resistance force. Almost this process results in the increasing of friction forces between rod and the guide, between a piston and a cylinder. Because of increasing of working liquid temperature and diminishing of its viscosity the loses increase through the clearances in rubbing pairs and valves, the mean value of resistance force decreases at the subsequent unstressed motion. As a result, damping quality, positioning accuracy, reliability and other indicators of the technical level of modern technical systems operating at high speeds and shock loads deteriorate [447, 449, 450, 452, 454, 457, 458]. To the present the mechanism of shock affecting indexes of quality and reliability of modern constructions of hydro-pneumatic shock-absorbers (HPSA) is not studied sufficiently, that limits possibilities of their further technical perfection [451, 453, 455, 456]. Important description of modern constructions of shock-absorbers is instantaneous power of the perceived vibrations. The most compact at identical instantaneous power there are modern constructions of the HPSA of single-tube design, that provide possibility of adjusting of workings descriptions and stability in the wide range of shock force amplitude, acceleration and frequency of vibrations [442, 448].

For modelling of working process in HPSA at shock influence the characteristic of elastic forces is accepted linear, and forces of resistance – piece-linear [443, 444]. On the power characteristic are allocated sites of a phase of the contraction, corresponding to passage of a liquid through calibrated apertures with factors of resistance  $\eta_{11}$ ,  $\eta_{12}$ , and the sites of a phase of extension (rebound) corresponding to work of unloading valves direct and reverse motion with factors of resistance  $\eta_{21}$ ,  $\eta_{22}$ .

In the designation of dimensional factors  $\eta$  the first index specifies a phase of the HPSA work (1 – compression/contraction; 2 – extension/rebound), and the second – number of a site of the piece-linear power characteristic.

To designate:  $T_0$  – duration of shock;  $T_1$  – duration of a phase of compression;  $T_2$  – duration of a phase of extension, accordingly as time function  $t$  changes force of resistance of the shock-absorber, is received

$$F_r = \eta \cdot \dot{x};$$

$$\eta = \left\{ \begin{array}{l} \eta_{11} \wedge \eta_{12}; \Leftrightarrow \text{shock } 0 \leq t \leq T_0; \\ \eta_{21} \wedge \eta_{22}; \Leftrightarrow \text{extension } T_0 \leq t \leq T_1; \\ \eta_{11} \wedge \eta_{12}; \Leftrightarrow \text{compression } T_1 \leq t \leq T_2. \end{array} \right\}. \quad (1)$$

As a criterion index of capacity of the HPSA in the conditions of shock it is accepted to use the coefficient of overload [441]

$$k_f = \frac{\max F_r}{H_0}, \quad (2)$$

where  $\max F_r$  – maximal value of resistance force for the chosen model of the HPSA (table);  $H_0$  – amplitude of shock force.

The system of damping is displayed by model Rusakov-Harkevich, in the assumption, that the shock force which form of an impulse is described by the equation of a half wave of a sinusoid is enclosed [448]

$$H = H_0 \sin \omega t \Leftrightarrow 0 \leq t \leq T_0; \quad H = 0 \Leftrightarrow t > T_0. \quad (3)$$

The equation of movement of the HPSA rod in relative parameters  $\omega = \pi/T_0$  ;

$$h_0 = H_0/m_0;$$

$$\lambda = \eta/(2 \cdot m_0); \quad \lambda = \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{11} \wedge \lambda_{12}; \Leftrightarrow \text{shock } 0 \leq t \leq T_0; \\ \lambda_{21} \wedge \lambda_{22}; \Leftrightarrow \text{extension } T_0 \leq t \leq T_1; h_0 = 0; \\ \lambda_{11} \wedge \lambda_{12}; \Leftrightarrow \text{contraction } T_1 \leq t \leq T_2; h_0 = 0, \end{array} \right\},$$

looks like

$$\ddot{x} + 2\lambda\dot{x} + \omega_0^2 x = h, \quad \left\{ \begin{array}{l} h = h_0 \sin \omega t \Leftrightarrow 0 \leq t \leq T_0; \\ h \equiv 0 \Leftrightarrow t \geq T_0, \end{array} \right\}, \quad (4)$$

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

where  $\omega_0$  – frequency of free oscillations;  $m_0$  – the mass of protected object carried to one HPSA;  $\lambda$  – index of damping;  $h_0$  – characteristic that has the dimension and physical meaning of shock acceleration.

Table.  
Parameters of power descriptions of the HPSA models

Model of the HPSA	Contraction /compression			Rebound /extension			[ $\tau$ ], s	max $F_r$ , kN,	$k_f$
	$\eta_{11}$ , N·s/m	$\eta_{12}$ , N·s/m	$V_1$ , m/s	$\eta_{21}$ , N·s/m	$\eta_{22}$ , N·s/m	$V_2$ , m/s			
“Sachs Touring” (two-tube design)	2500	500	0,2	5000	1400	0,2	3,9	1,83	0,36
“Plaza Sport” (single-tube design)	2500	630	0,1	7100	7100	0,4	1,5	5,06	1,01

Note:  $V_1$  and  $V_2$  – are the scope speeds of piece-linear descriptions; [ $\tau$ ] – the stop time.

Shock influences cause the non-stationary vibrating phenomena accompanied by transients [448]. On the basis of accepted model (4), using a “fitting” method, the corresponding decision is received:

$$x = e^{-\lambda t} \left( x_0 \cos \omega_1 t + \frac{\dot{x}_0 + \lambda x_0}{\omega_1} \sin \omega_1 t \right) + A e^{-\lambda t} \left( \frac{\sin \varepsilon \cos \omega_1 t + \frac{\lambda \sin \varepsilon - \omega \cos \varepsilon}{\omega_1} \sin \omega_1 t}{\omega_1} \right) + A \sin(\omega t - \varepsilon). \quad (5)$$

The following designations in (5) are accepted:

$$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \lambda^2}, \quad \text{tg } \varepsilon = \frac{2\lambda\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}, \quad A = \frac{h_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\lambda^2\omega^2}}.$$

The decision (5) is received in the assumption, that shock influences at the system is in a condition of established movement at zero entry conditions  $x(0)=0$ ,  $\dot{x}(0)=0$ .

Factor of oil leaks  $\sigma$  and the free stroke of piston (backlash) [443]

$$\sigma = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{Q_1}{Q_0}; \quad \Delta S_0 = \sigma \cdot S_0, \quad (6)$$

where  $Q_0, Q_1$  – initial and final quantity of oil;  $S_0$  – an initial course of the piston in the absence of oil leaks.

In the HPSA the free stroke of the piston  $\Delta S_0$  is compensated by corresponding increase in volume of the chamber of air space and reduction of its pressure that leads to decrease in rigidity and respective decrease in  $(1-\sigma)$  time of frequency of free oscillations  $\omega_0$ . For comparison of the HPSA models of different design are constructed damping diagrams in the form of dependence of resistance force  $F_r$  from displacement  $x$  of a rod (fig. 1, 2).

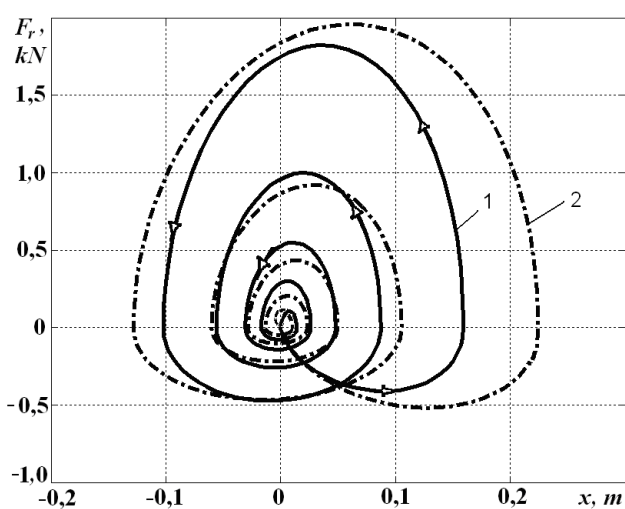


Figure 1. The damper diagram for the HPSA “Sachs Touring”:  
curve 1 – normal volume of oil;  
2 – loss of 40 % of oil

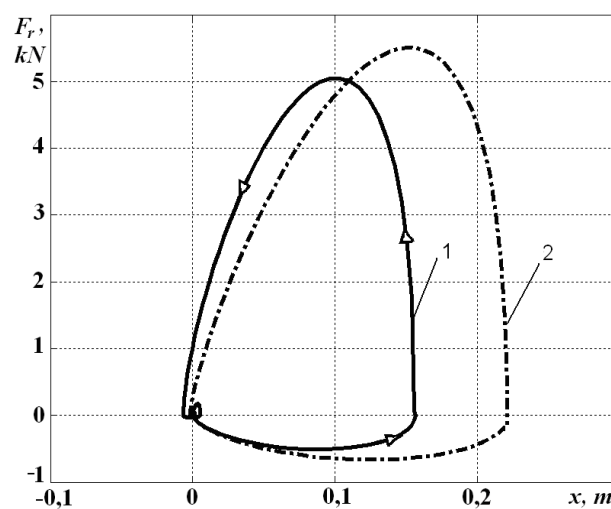


Figure 2. The damper diagram for the HPSA “Plaza Sport”:  
curve 1 – normal volume of oil;  
2 – loss of 40 % of oil

Positive values of force  $F_r$  on diagrams corresponds to extension phase, negative – to contraction phase. In calculations it is accepted:  $m_0 = 500$  kg,  $h_0 = 10$  m·s<sup>-2</sup>,  $T_0 = 0,4$  s,  $\omega_0 = 10$  s<sup>-1</sup>.

Work of elastic forces at shock (fig. 3, curve 1) on moving of the HPSA rod on a site  $i$  from 0 to  $x_i$  is equal

$$A_{e,i} = -\omega_0^2 \cdot m_0 \cdot x_i^2 / 2. \quad (7)$$

Work of resistance forces (fig. 3, curve 2) and residual energy after absorption is equal to a difference of works of elasticity forces and damping forces (curve 3)

$$A_{r,i} = \int_0^{t_i} \vec{F}_r \cdot \vec{V} \cdot dt; \quad E_i = A_{e,i} - A_{r,i}. \quad (8)$$

As a result of shock influence there are vibrations of the vibration isolation object, accompanied by transformation of energy of elastic oscillations to thermal energy. For HPSA “Sachs Touring” full absorption of energy occurs during less 2 s (fig. 3). Thus in the course of shock ( $T_0 = 0,4$  s) work of elastic forces is negative, and throughout other cycles of oscillations – is positive.

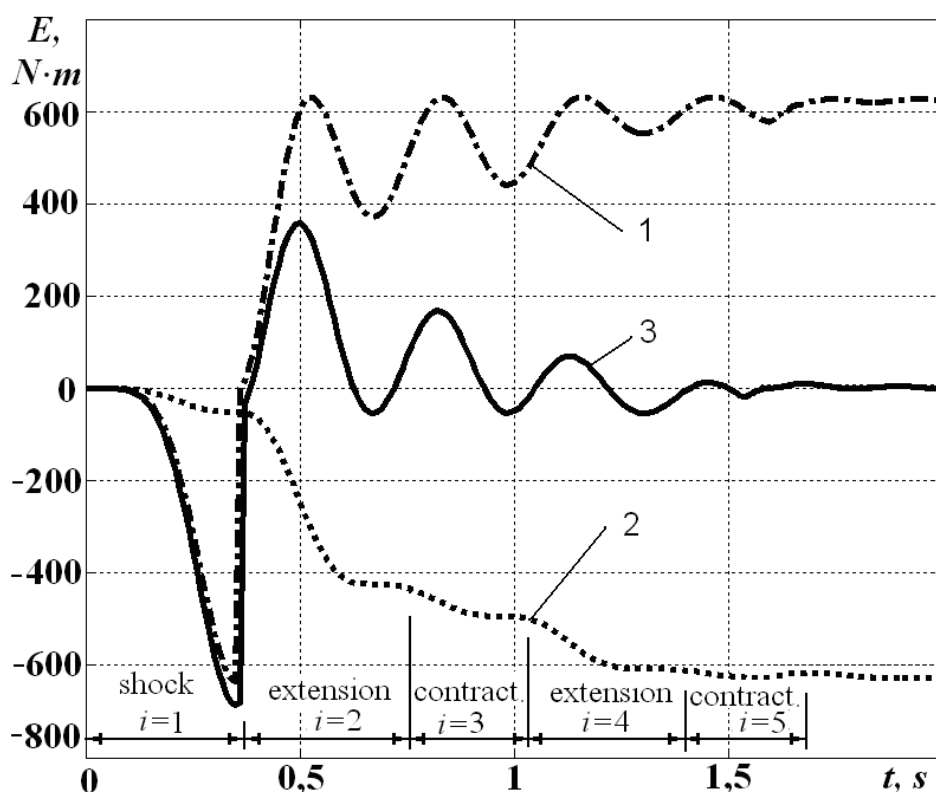


Figure 3. Diagrams of process of absorption of shock energy by the HPSA “Sachs Touring”:

curve 1 – work of elasticity forces;

2 – of resistance forces; 3 – residual energy

The power analysis of the HPSA work is based on calculations of instant and average values of capacity of the generalised resistance forces (damping forces) and capacities

of elasticity forces. Instant and total capacity of damping forces are defined under formulas

$$N_{r,j} = F_{r,j} \cdot V_j \cdot \cos(\vec{F}_{r,j}, \vec{V}_j); \quad N_{r\Sigma,i} = \sum_{j=1}^i N_{r,j}. \quad (9)$$

Calculations have shown, that the maximum of a gradient of instant capacities of resistance forces corresponds to the first cycle of extension of the shock-absorber in (fig. 4, 5, site  $i = 2$ ). Instant and total capacity of elastic forces are defined accordingly under formulas

$$N_{e,i} = (A_{e,i+1} - A_{e,i}) / \Delta t; \quad N_{e\Sigma,i} = \sum_{j=1}^i (A_{e,j+1} - A_{e,j}) / \Delta t. \quad (10)$$

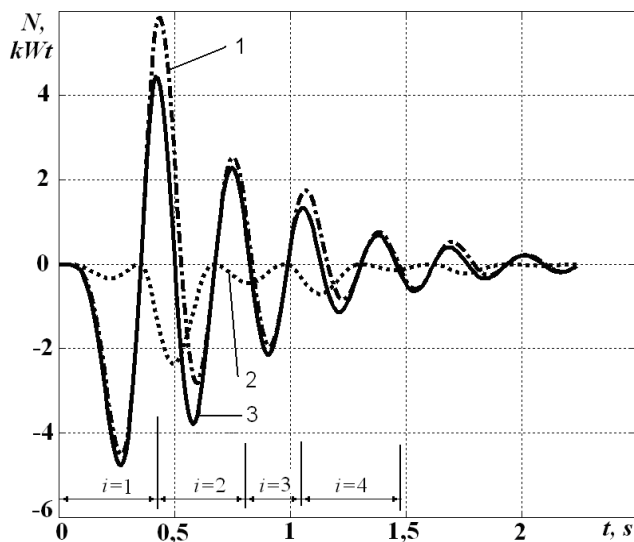


Figure 4. Diagrams of instant capacities at shock: curve 1 – for elasticity forces  $N_{e,i}$ ; 2 – resistance forces  $N_{r,i}$ ; 3 – residual capacity ( $N_{e,i} - N_{r,i}$ ) after absorption of energy of shock

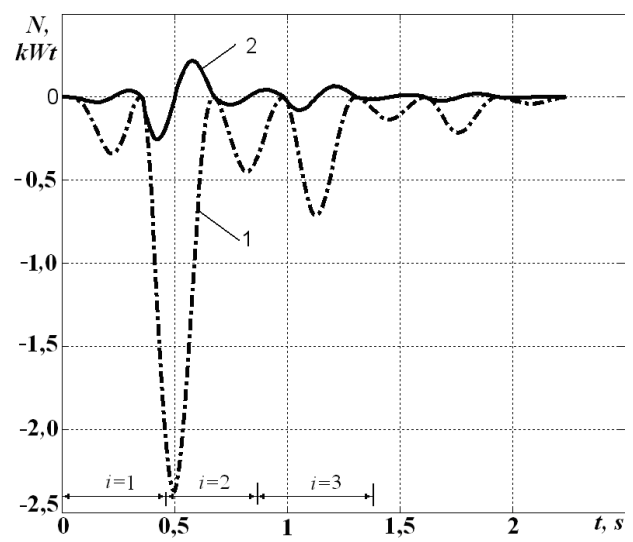


Figure 5. Diagrams of change of instant capacities of resistance forces  $N_{r,i}$  (curve 1) and a gradient of instant capacities  $\Delta N_{r,i}$  (2)

The criterion index  $k_f$  is not full enough for reflects operational HPSA properties in the presence of oil leaks [445, 446]. For a power estimation of quality of absorption by the shock-absorber of the oscillations capacity arising at shock influences on a vehicle, it is offered to use dimensionless criterion of intensity of absorption of the

energy, equal to the relation of instant capacity of forces of resistance to total capacity of damping forces

$$k_{int} = \frac{N_{r,i}}{N_{r\Sigma,i}} = \frac{N_{r,i}}{\sum_{j=1}^i N_{r,j}}. \quad (11)$$

The power analysis made by an offered technique has shown, that in the presence of 40 % of oil leaks substantial growth (to 25 %) capacities of oscillation and duration of process of damping is observed (fig. 6). Most intensively absorption of oscillations energy by the shock-absorber occurs on the extension phase where the criterion of intensity of absorption reaches the maximum values (fig. 7).

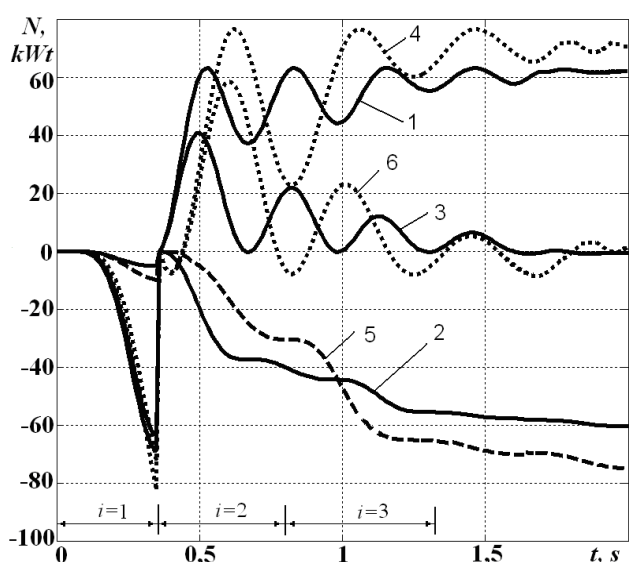


Figure 6. Diagrams of change of total capacities  $N_{r\Sigma}(t)$ ,  $N_{e\Sigma}(t)$  and their difference  $\Delta N_{\Sigma}(t)$  at normal oil volume: curve 1 – capacity of elasticity forces; 2 – forces of resistance; 3 — residual capacity taking into account 40 % of oil losses; 4 – capacity of elasticity forces; 5 – of resistance forces; 6 – residual capacity

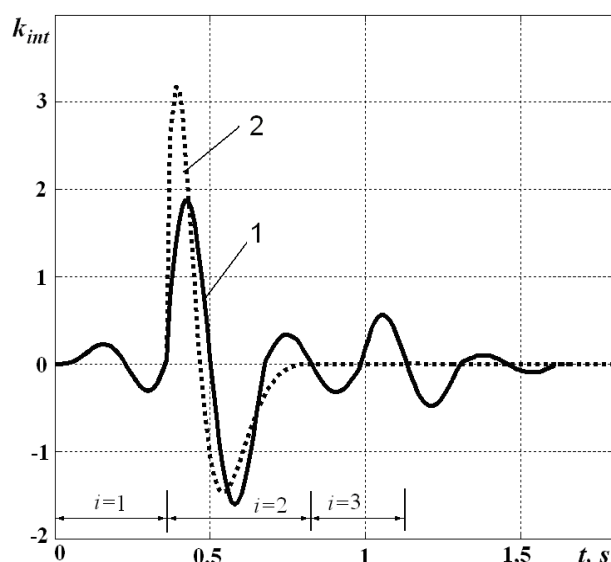


Figure 7. Diagrams of criterion of absorption in the HPSA: curve 1 – “Sachs Touring”; 2 – “Plaza Sport”



Operational properties of the HPSA are characterised not only by absorption of oscillations energy, but also by regeneration of the damping properties, estimated with the factor  $k_{reg}$  in the form of the relation of loss of total capacity  $\Delta N_{\Sigma, m}$  to the average capacity absorbed on a phase of extension or contraction  $N_{\Sigma, m}$

$$k_{reg} = \frac{\Delta N_{\Sigma, m}}{N_{\Sigma, m}} = \frac{\frac{1}{i+1} \sum_{j=1}^{i+1} N_{r, j} - \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i N_{r, j}}{\frac{1}{i} \sum_{j=1}^i N_{r, j}}. \quad (12)$$

Calculations of change in time of the criterion of regeneration of damping properties taking into account possible losses of oil volume in the HPSA, have shown not only increase in time of regeneration damping properties, but also considerable reduction of factor of regeneration (fig. 8), that specifies in essential decrease in the HPSA working capacity and the absence of a resource of absorption of energy of shock oscillations.

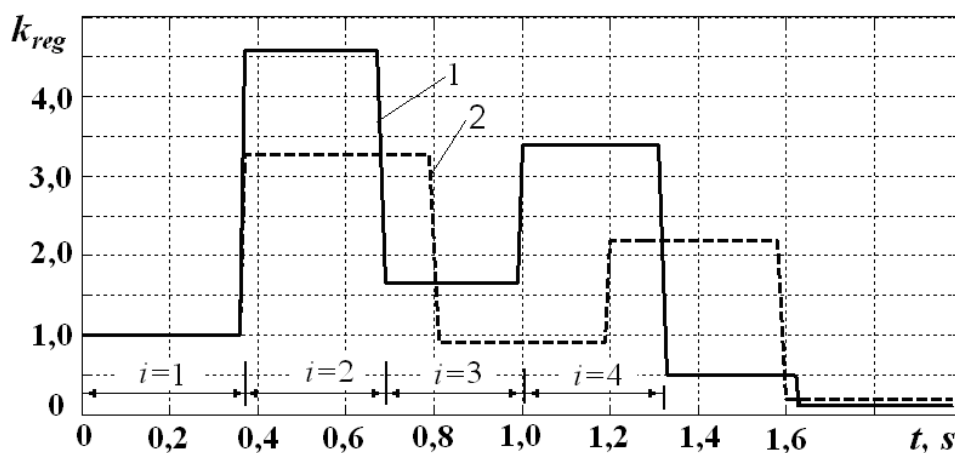


Figure 8. Diagrams of change of the criterion of damping properties of the HPSA “Sachs Touring”: curve 1– at normal oil volume; 2 – at loss of 40 % of oil

## CONCLUSION

1. The settlement model and technique of power evaluation of the HPSA work is developed. Process of absorption of energy of shock in the HPSA and free oscillations

are investigated. Complex power criterion of the HPSA quality: the criterion of intensity of absorption of energy of aftershock oscillations and the criterion of regeneration of amortisation properties are offered.

2. The essential influence of losses of a working oil on quality of the HPSA work is confirmed, diagrams of change of power criteria of quality are constructed. At losses of oil duration of regeneration process of damping properties increases, the regeneration factor decreases up to 50 %, therefore, the probability of occurrence of the resonance phenomena in a wheel suspension increases.

3. The comparison of the HPSA models with two designs by complex of power criteria's  $k_{int}$  and  $k_{reg}$  shows, that the intensity of absorption of oscillations twice more has the "Plaza Sport" (single-tube design), therefore regeneration occurs much faster, already during the first phase of extension.

4. The analytical modeling results by the experience of using single-tube hydraulic shock absorbers with a gas stop, in practice, for simplicity, they are called "gas" shock absorbers, are confirmed. Such design assumes the presence of high pressure in the gas compartment (15...18 bar), for sealing components of exceptionally high quality are used, which leads to a significant increase in the cost of products. At the same time, stability of operation under various road surfaces and temperatures is ensured, reliability and service life are increased by 2...2,5 times.

### **7.3 Способи збільшення стійкості тришарових оболонкових структур до динамічних впливів**

Сучасні конструкторсько-технологічні рішення машин, механізмів, будівельних і інших інженерних конструкцій часто використовують елементи і деталі тонкостінних шаруватих оболонок. Завдяки цьому зменшується металоємність конструкцій, їх вага та, при використанні оболонок підвищеної стійкості до динамічних впливів, забезпечується їх довговічність і надійність.

Використання шаруватих оболонок в системах надзвукових літальних апаратів, багаторазових космічних апаратах, об'єктах енергетики, нафтохімічній і інших галузях промисловості, дозволяють конкретизувати місце і роль таких структур в системах та визначити напрямки їх вдосконалення. І, як свідчить практичний досвід, ефективними є матеріали, характеризуючі вплив геометричних параметрів і фізико-механічних властивостей шаруватих оболонок на їх стійкість до динамічних впливів, та існуюча теоретично-розрахункова база оцінки таких впливів.

Використання моделі зсувної теорії оболонок і стержнів [459] і варіаційного принципу стаціонарності Гамільтона-Остроградського та чисельно-розрахункових методів [460] принципово дозволяють вирішувати дану проблему, але не завжди є ефективними, особливо в оперативному відношенні.

В цій ситуації особливе значення має визначення характеру та оцінки значимості впливу наведених факторів на стійкість оболонкових структур до динамічних впливів. Порівняльний аналіз значимості такого впливу в оболонкових структурах різної категорії складності.

Щоб забезпечити необхідну стійкість структур до динамічних впливів розглядалось і оцінювалось використання низки конструктивно-технологічних заходів.

В першому випадку оцінювалася можливість вирішення задачі збільшенням пружності матеріалу полімерного заповнювача та армуванням його

металевими ребрами жорсткості, а в другому – збільшенням товщини несучого шару і використанням металу більш високої пружності.

Ефективність указаних способів перевірялась на структурах наведених на рис. 1.

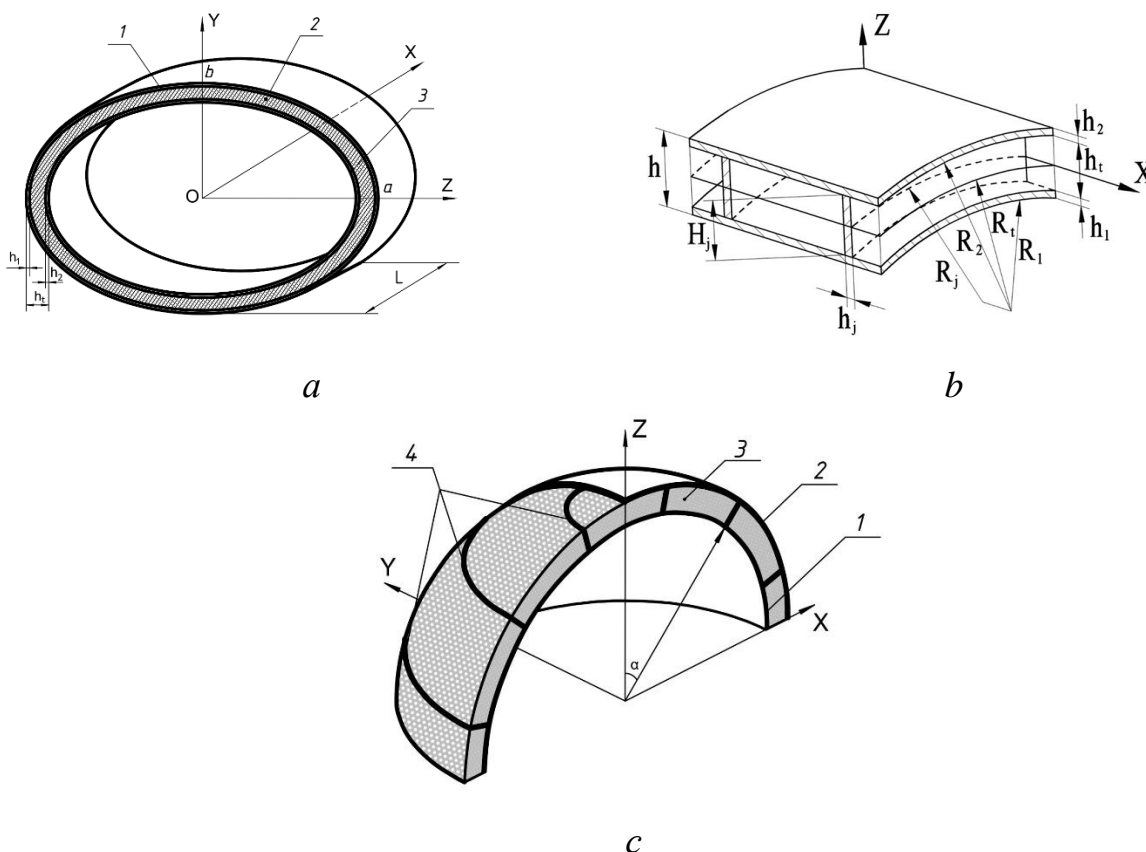


Рисунок 1. Конструкції циліндричної та півсферичної оболонкових структур  
*a* – без армуючих ребер; *b* і *c* – з армуючими ребрами:

1 – внутрішній шар; 2 – полімерний заповнювач; 3 – зовнішній шар;  
4 – армуючі ребра

Реагування структур на динамічні впливи оцінювалось в серединних поверхнях несучих шарів показниками нормальних прогинів  $U_{22}^1$  і  $U_{22}^2$  та нормальних напружень  $\sigma_{22}^1$  і  $\sigma_{22}^2$  у часовому інтервалі  $0 \leq t \leq 10T$ . Розрахунки здійснювались скінченно-елементним методом [461], з використанням створених скінченно-елементних моделей (рис. 2 і 3), відповідаючих якості скінченно-елементної сітки у розрахунковому комплексі *Nastran* [462]. В структурах *a* і *b* (рис.1) моделі включали: 120000 скінченних елементів типу *Solid* і 141000 вузлів, а в півсферичній структурі 154500 і 185407 скінченних елементів і вузлів відповідно.

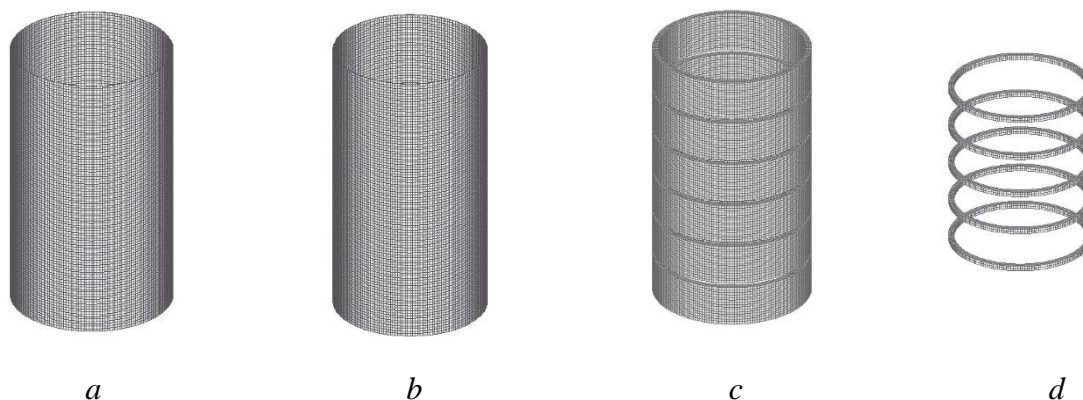


Рисунок 2. Скінченно-елементна модель тришарової циліндричної оболонки нормального еліптичного перетину:  
*a* – обшивка несуча внутрішня; *b* – теж саме зовнішня; *c* – полімерний заповнювач;  
*d* – армуючі ребра

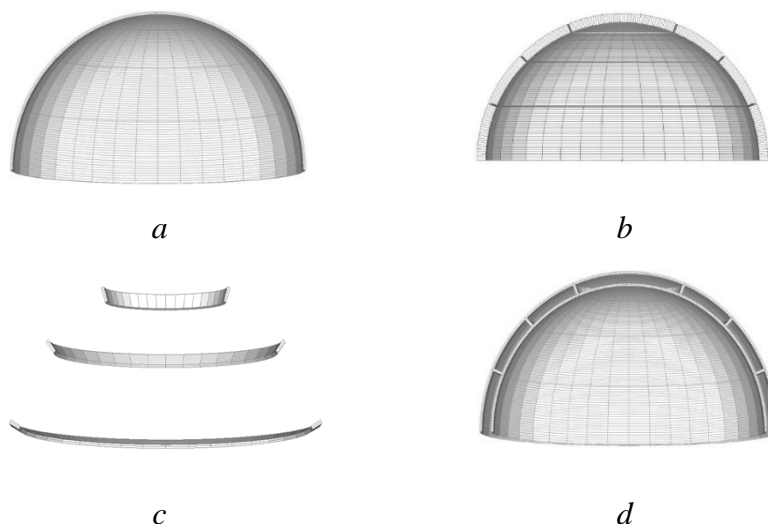


Рисунок 3. Скінченно-елементна модель тришарової півсферичної оболонки  
*a* – обшивка зовнішня; *b* – полімерний заповнювач; *c* – армуючі ребра;  
*d* – розріз півсферичної тришарової оболонки

Розрахунки у програмно-розрахунковому комплексі виконувались алгоритмом прямого перехідного динамічного процесу. Покладалося, що краї оболонки є жорстко затисненими, тобто при  $S_1 = 0$  і  $S_1 = L$  :  $U_1 = U_2 = U_3 = \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = 0$  . Прогини  $U_{22}^1$  і  $U_{22}^2$  та напруження  $\sigma_{22}^1$  і  $\sigma_{22}^2$  серединних поверхонь несучих шарів циліндричних структур еліптичного перетину (рис. 1 *a, b*) досліджувались в області  $D = \{0 \leq S_1 \leq L\}$ , а в сферичній

структурі (рис. 1 *с*) характеризувались відповідною кутовою координатною лінією на серединній поверхні шарів оболонки.

Розподіл імпульсного навантаження  $P(t)$  здійснювався, згідно (1) і мав часовий інтервал  $0 \leq t \leq 10T$ :

$$P(t) = A * \sin \frac{\pi t}{T} [\eta(t) - \eta(t - T)], \quad (1)$$

Відносно незначним виявився вплив збільшення пружності полімерного заповнювача на динамічну поведінку структури (рис. 1 *а*). Зменшення величини співвідношення  $E_1/E_t$  із 500 до 50 (рис. 4) проявилось у формі синхронізації динамічної поведінки обох несучих шарів. Максимальні величини їх прогинів зменшились в перетині  $S_1$  лише на 4,58%, а їх пікові значення змістилися у напрямку середини довжини структури, а прогини обох несучих шарів стали практично однаковими.

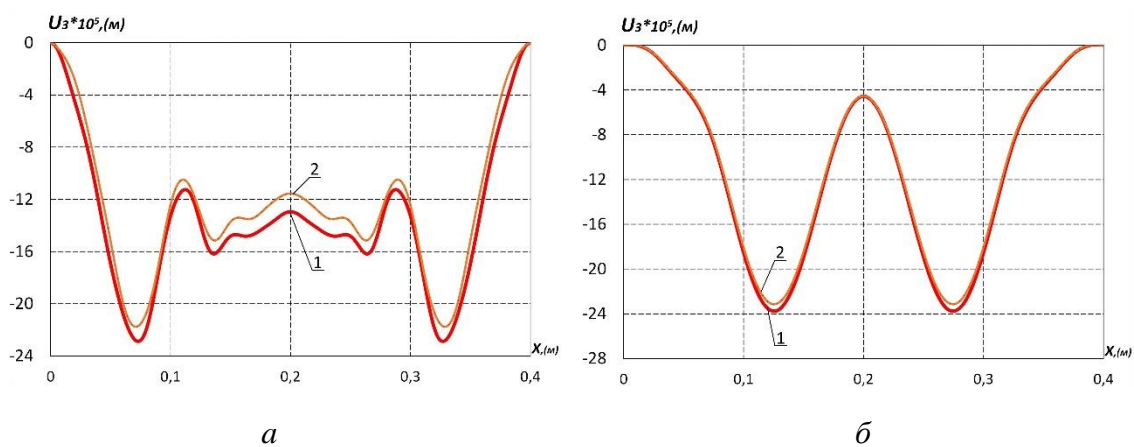


Рисунок 4. Нормальні прогини несучих шарів оболонок в перетині  $S_1$ :  
а –  $E_{1,3}/E_t = 500$  при  $t = 8,65T$ ; б –  $E_{1,3}/E_t = 50$  при  $t = 8,4T$   
1 - внутрішній шар; 2 - зовнішній шар

Подібним чином відреагували на зміну пружності полімерного заповнювача і нормальні напруження робочих шарів структури. При співвідношенні модулів пружності  $E_1/E_t = 500$ , максимальна величина нормального напруження зовнішнього шару  $\sigma_{22}^2$  перевищила аналогічну величину при  $E_1/E_t = 50$  лише на 3% (рис. 5).

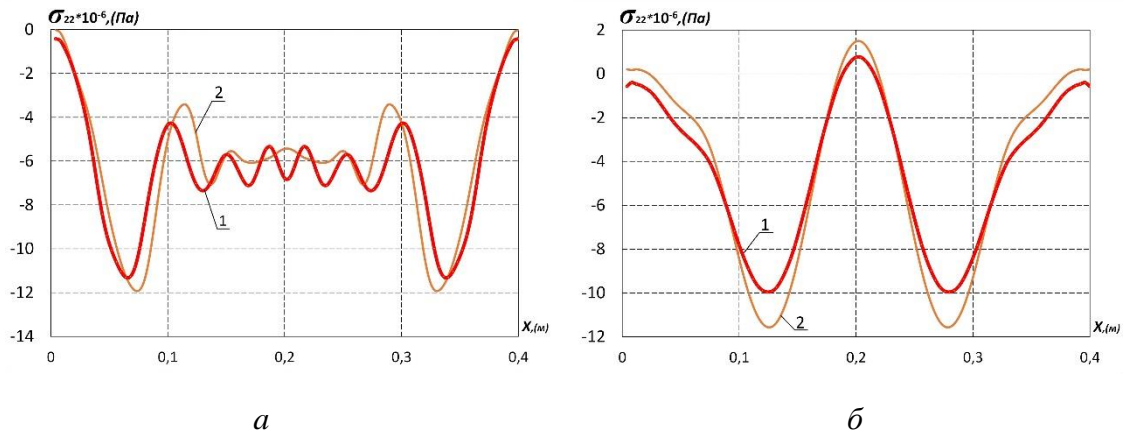


Рисунок 5. Нормальні напруження несучих шарів оболонок в перетині  $S_1$ :  
а –  $E_{13}/E_t = 500$  при  $t = 8,65T$ ; б –  $E_{13}/E_t = 50$  при  $t = 8,4T$   
1 – внутрішній шар; 2 – зовнішній шар

Значно змінився розподіл і величини прогинів і напружень при армуванні полімерного заповнювача металевими ребрами жорсткості. Максимальні величини нормальних прогинів в структурі армованою п'ятьма горизонтальними кільцевими ребрами (рис. 2 *d*) зменшило їх величину більш як на 40% (рис. 6), а нормальних напружень практично на 20%.

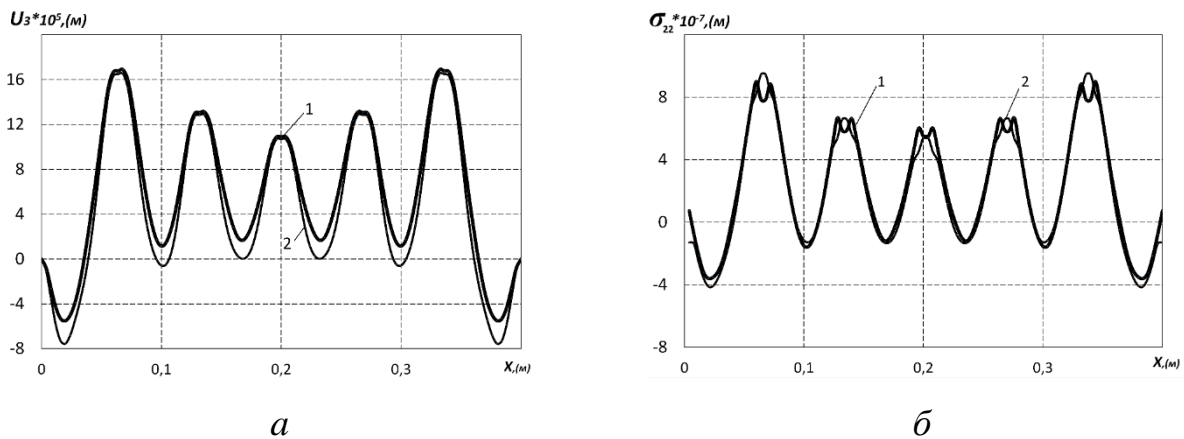


Рисунок 6. Максимальні величини нормальних прогинів (а) і напружень (б) несучих шарів циліндричної тришарової структури з армуванням заповнювача (перетин  $S_1$ ):

1 – шар внутрішній; 2 – теж саме зовнішній

Ефективність армування полімерного заповнювача виявилася особливо значною при використанні заповнювача із більш пружного матеріалу.

При визначенні впливу геометричних параметрів і фізико-механічних властивостей внутрішнього несучого шару на динамічну поведінку тришарових оболоноквих структур розглядались три варіанти (А, Б, В) півсферичної

тришарової структури (рис. 1с) з різними геометричними параметрами і фізико-механічними властивостями їх несучих шарів. Всі варіанти структури мали однакові розміри ( $R=0,3\text{м}$ ) і товщину тришарового пакету ( $h=0,012\text{м}$ ). Їх основи були жорстко затиснені, а полімерні заповнювачі армовані трьома ребрами розміщеними в точках  $\alpha_k = [41 + 40(k-1)]\Delta\alpha_1$ ,  $k = \overline{1,3}$ ,  $\Delta\alpha_1 = \pi/320$ .

В першому варіанті (А) – внутрішні і зовнішні несучі шари мають однакову товщину ( $h_1=h_2=0,001\text{м}$ ) і виготовлені із алюмінієвого сплаву марки АМГ-6 (модуль пружності  $E_1 = E_2 = 7 \cdot 10^{10}$  Па). У другому (Б) – обидва шари виготовлені із цього ж матеріалу, а їх товщини мають наступні значення ( $h_1=0,003\text{м}$ ,  $h_2=0,001\text{м}$ ). В третьому (В) - товщини несучих шарів однакові ( $h_1=h_2=0,001\text{м}$ ), а їх матеріали відрізняються. Внутрішній виготовлений із сталі (модуль пружності  $E_1=2,1 \cdot 10^{11}$  Па), а зовнішній із сплаву АМГ-6. Модуль пружності полімерного заповнювача у всіх структурах є однаковим ( $E_t=2 \cdot 10^7$  Па). Інші характеристики матеріалів і параметри навантаження відповідали приведеним вище.

Динамічна поведінка аналізованих структур характеризувалась змінами величин нормальних прогинів в серединних поверхнях несучих шарів від кутової координати  $\alpha$  в часовому інтервалі  $0 \leq t \leq 10T$ . Задача розв'язувалася на кутовому інтервалі  $[-\pi/2, \pi/2]$ .

Рівняння коливань таких пружних структур, як відомо [460], мають вид:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sin \alpha} \frac{\partial}{\partial s_i} (\sin \alpha T_{11}^i) - \frac{1}{R_i} (\text{ctg} \alpha T_{22}^i - T_{13}^i) - \frac{1}{R_i} T_{13}^i &= \rho_i h_i \frac{\partial^2 u_1^i}{\partial t^2}; \\ \frac{1}{\sin \alpha} \frac{\partial}{\partial s_i} (\sin \alpha T_{13}^i) - \frac{1}{R_i} (T_{11}^i + T_{22}^i) - \frac{1}{R_i h_i} (M_{11}^i + M_{22}^i) + P_3 &= \rho_i h_i \frac{\partial^2 u_3^i}{\partial t^2}; \\ \frac{1}{\sin \alpha} \frac{\partial}{\partial s_i} (\sin \alpha M_{11}^i) - \frac{\text{ctg} \alpha}{R_i} M_{22}^i - T_{13}^i &= \frac{\rho_i h_i^3}{12} \frac{\partial^2 \phi_1^i}{\partial t^2} \quad (i = 1, 2); \end{aligned} \quad (2)$$



$$\frac{1}{\sin \alpha} \frac{\partial}{\partial s_t} (\sin \alpha M_{11}^t) - T_{13}^i + \frac{1}{R_{t1}} M_{13}^t = \rho_t h_t \frac{\partial^2 u_1^i}{\partial t^2};$$

$$\frac{1}{\sin \alpha} \frac{\partial}{\partial s_t} (\sin \alpha T_{13}^t) - \frac{1}{R_t} (T_{11}^i + T_{22}^i) = \rho_t h_t \frac{\partial^2 u_{03}^i}{\partial t^2};$$

$$[T_{11}^{i\pm}]_j = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{1j}}{\partial t^2}; \quad [T_{13}^{i\pm}]_j = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{3j}}{\partial t^2}; \quad [M_{11}^{i\pm}]_j = \rho_j I_{krj} \frac{\partial^2 \varphi_{1j}}{\partial t^2}.$$

На лініях розривів в рівняннях коливань (2) величини  $[T_{11}^{i\pm}]_j$ ;  $[T_{13}^{i\pm}]_j$ ;  $[M_{11}^{i\pm}]_j$  – відповідають зусиллям і моментам, які діють на  $j$ - й дискретний елемент з боку несучих шарів.

Однак, високий порядок цих рівнянь і складність розрахунків пов'язана з врахуванням в них властивостей різного матеріалу несучих шарів і полімерного заповнювача та врахування інших особливостей структури зменшує оперативність виконання аналітичних розрахунків.

Розрахунки величин указаних показників виконувались скінченно-елементним методом [461] з використанням скінченно-елементної моделі приведеної на рис. 3.

Отримані результати розрахунків представлені на рис. 7, 8 і 9.

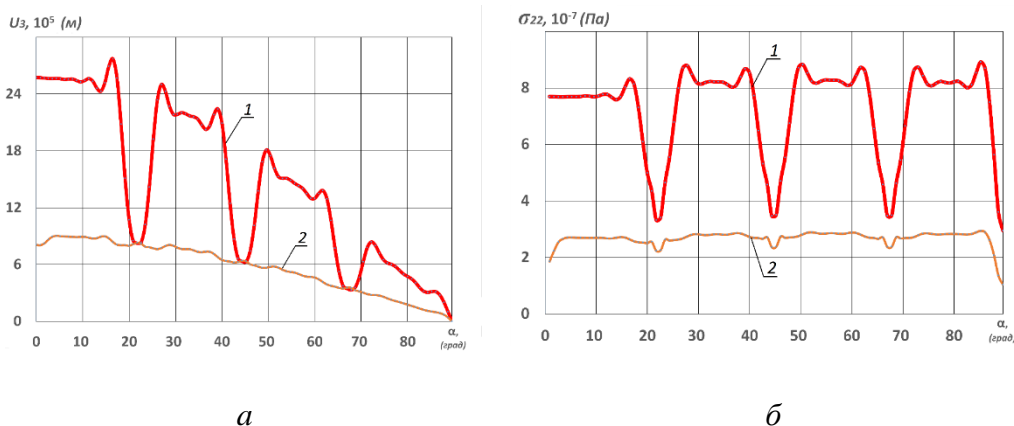


Рисунок 7. Максимальні величини нормальних прогинів (а) і напружень (б) несучих шарів півсферичної тришарової структури із армованим полімерним заповнювачем  $E_1/E_t=3,5 \cdot 10^3$ :

1 – шар внутрішній алюміній; 2 – теж саме зовнішній алюміній

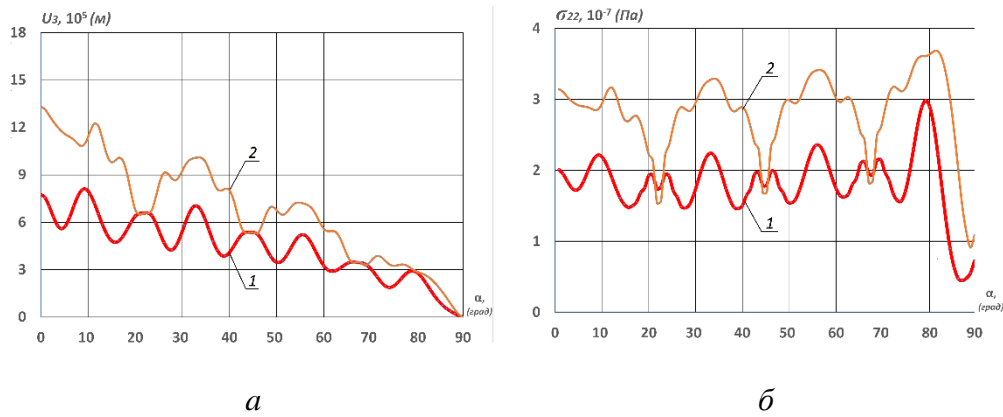


Рисунок 8. Максимальні величини нормальних прогинів (а) і напружень (б) несучих шарів півсферичної тришарової структури із армованим полімерним заповнювачем  $E_1/E_t=3,5 \cdot 10^3$ :  
1 – шар внутрішній алюміній; 2 – теж саме зовнішній алюміній

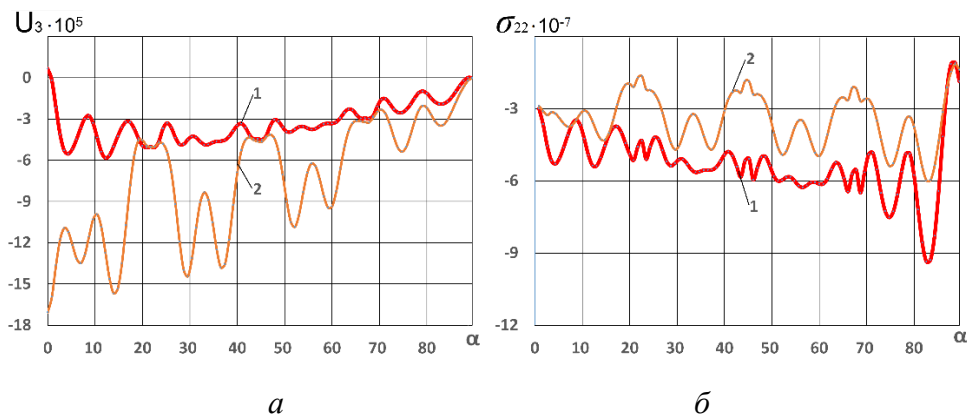


Рисунок 9. Максимальні величини нормальних прогинів (а) і напружень (б) несучих шарів півсферичної тришарової структури із армованим полімерним заповнювачем  $E_1/E_t=10^4$ :  
1 – шар внутрішній сталь; 2 – теж саме зовнішній алюміній

Всі вони підтверджують значимість впливу геометричних параметрів і фізико-механічних властивостей внутрішнього несучого шару півсферичної оболонкової структури на її динамічну поведінку.

Подібний характер впливу засвідчують і результати відображаючі зміни фізико-механічних властивостей матеріалу внутрішнього несучого шару на динаміку даної структури. Заміна алюмінієвого матеріалу сталевим при однакових інших геометричних параметрах цього несучого шару ( $h_1=h_2=0,001\text{м}$ ) зменшила величини нормального прогину  $u_3^1$  більш як в 4 рази (рис. 9). Таким чином, найбільш стійким до динамічних впливів виявився варіант структури (В) в якому матеріал внутрішнього несучого шару було виконано із сталі.

Крім приведених вище заходів, підвищенню стійкості структур до динамічних впливів, сприяє: використання полімерного заповнювача більш підвищеної пружності [463], збільшення інтенсивності його армування [464, 465], виготовлення зовнішнього несучого шару із інших матеріалів з більш високими параметрами механічних властивостей.

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено динаміку несиметричних тришарових сферичних оболонок з дискретно-симетричним легким, армованим ребристим заповнювачем при нестационарних навантаженнях. При аналізі елементів пружної конструкції використано модель теорії оболонок і стрижнів Тимошенка за незалежних статичних і кінематичних гіпотез для кожного шару. За варіаційним принципом Гамільтона-Остроградського розглянуто рівняння руху несиметричних тришарових півсферичних оболонок з дискретно-симетричним легким, армованим ребрами заповнювачем при осесиметричному імпульсному навантаженні. Чисельні результати дослідження природи коливань несиметричної тришарової пружної структури, несучі шари якої виготовлені з різних матеріалів, отримані методом скінченних елементів. Досліджено вплив геометричних і фізико-механічних параметрів несиметричних тришарових оболонок на їх динамічну поведінку при осесиметричному внутрішньому нестационарному навантаженні та виявлено нові механічні ефекти.

**SECTION 8. METALLURGY AND ENERGY**

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.8.1

**8.1 Experience of restructuring the coal industry abroad and in Ukraine**

Підсумком проведеного головного етапу (1996–2009 рр.) реструктуризації вугільної промисловості України за роки незалежності стало подолання системної кризи і перехід до функціонування вуглевидобувних підприємств в умовах ринкової економіки. У результаті галузь досягла позитивної динаміки в обсягах видобутку вугілля та забезпеченні країни вугільною продукцією. Водночас, фінансовий стан залишався несприятливим через збитковість багатьох підприємств, заборгованість споживачів за відвантажене вугілля, а також через ряд інших причин.

Подальше зростання цін на нафту та газ може сприяти зміщенню акценту на необхідність використання в якості енергоносія саме вугілля. Необхідно відзначити, що реструктуризація це складний економічний процес, спрямований на здійснення комплексу заходів, які проводяться в рамках стратегічного планування та управління, закріплених в довгостроковій програмі розвитку галузі, а також прийняття рішень в рамках оперативного і тактичного планування, що дозволить повернути підприємства до ефективного функціонування і розвитку шляхом санації.

Ранжування шахтного фонду є чи не головною складовою реструктуризації вугільної промисловості. В роботах [466, 467] авторами було запропоновано методичні підходи щодо ранжування вугільних шахт за перспективністю. Визначення критеріїв перспективності шахт унеможливорює вживання елементів суб'єктивізму під час проведення щорічної оцінки групування вугільних підприємств.

До основних причин, які сприяли проведенню реструктуризації у вугільній промисловості за кордоном, відносяться: погіршення гірничо-геологічних умов

видобутку вугілля; альтернатива використання інших первинних енергоносіїв (нафта, природний газ); ринкові перетворення в суміжних галузях.

Аналіз процесу реструктуризації вугільної промисловості й енергетики ряду зарубіжних країн дає можливість виявити деякі спільні та відмінні тенденції. Основні фактори, що обумовлюють ці тенденції, мають природний і економічний характер.

У наш час процеси реструктуризації вуглевидобувних підприємств за кордоном перебувають на різних етапах. У країнах із типовою ринковою економікою (Великобританія, Німеччина, Франція, США, Австралія) такі перетворення було розпочато значно раніше і практично завершено. Розглянемо більш детально реформи проведені у країнах *першої* групи.

**Великобританія.** У повоєнні роки вугільна промисловість Великобританії була націоналізована (організовано Національне вугільне управління). Видобуток вугілля поступово нарощувався і становив близько 50 % від загального видобутку кам'яного вугілля у Західній Європі (78 % видобутого енергетичного вугілля, 2 % антрацитів і 20 % коксівного вугілля).

Проте, низька якість вугілля і нерентабельність його видобутку у Великобританії стали очевидними ще у 70-ті рр. ХХ ст. Вважалося, що необхідність використання вугілля гальмуватиме технічний прогрес та реформування національної економіки.

Діяльність вугільної промисловості Великобританії регулювалась законами, що вводяться королівською інспекцією вугільних шахт та розрізів. Після націоналізації у 2004 р. вугільна галузь існувала завдяки державним субсидіям.

Головним наслідком повної реструктуризації вугільної галузі Великобританії було закриття більше 100 нерентабельних вугільних шахт. В результаті (вперше з 2001 р.) було зафіксовано зростання видобутку вугілля. Це пов'язано насамперед з підвищенням цін на вугілля. Поліпшення кон'юнктури на ринку вугілля переконувало компанії інвестувати кошти у розширення діючих виробництв та навіть повторного відкриття старих вугільних шахт [468].

**Німеччина.** Роботу з підвищення ефективності та пошуку резервів вугільного виробництва здійснювали за такими напрямками: концентрація виробництва та скорочення підприємств; відмова від роботи у виключно складних гірничо-геологічних умовах; здійснення комплексної механізації всіх виробничих процесів, удосконалення конструкцій та параметрів гірничо-транспортних машин та обладнання; автоматизація виробничих процесів, а також широке використання автоматизованих систем керування; застосування обчислювальної техніки при організації робіт та управління по всьому технологічному ланцюжку; підвищення енергоозброєності праці; вдосконалення організації виробництва та стимулювання праці. [469].

На відміну від Великобританії, Франції та ряду інших промислово розвинених країн Західної Європи, які обрали шлях націоналізації вугледобувних галузей, регулювання виробництва та цін здійснюють на приватній основі за активної участі держави.

Реструктуризація вугільної промисловості Німеччини здійснювалася більш «м'якими способами» і значно розтяглася в часі. Закриття шахт супроводжувалося дотаціями держави на соціальні гарантії шахтарям, що звільнювалися, створенням нових робочих місць, міграцією трудової сили тощо. При цьому Німеччина, на відміну від Великобританії, не прагнула організувати конкурентний енергетичний ринок.

**Франція.** Особливістю проведеної у Франції реконструкції вугільної галузі в порівнянні з іншими західноєвропейськими країнами було те, що на першому її етапі основне завдання полягало у збільшенні видобутку вугілля і лише на другому у покращенні техніко-економічних показників роботи шахт.

Уряд Франції (як і уряд Великобританії) переслідуючи ті ж самі цілі, націоналізував вугільну промисловість, створивши для управління галуззю компанію «Шарбонаж де Франс». Проте на початку 60-х рр. XX ст. було прийнято енергетичну стратегію, яка передбачала інтенсивний розвиток атомної енергетики та поступове закриття вугільних шахт.

Практично всі намічені та реалізовані заходи були підпорядковані наступним основним цілям: не допускати соціальних конфліктів; не звільняти працівників, а вирішувати питання працевлаштування за погодженням із ними; звести до мінімуму можливу матеріальну шкоду завдану шахтарям.

На відміну від Великобританії та Німеччини, робота вугільних підприємств Франції заснована на домінуванні державної власності. У Франції процеси, аналогічні реструктуризації у Великобританії та перебудові вугільної промисловості в Німеччині та обумовлені тими ж чинниками: конкуренцією більш дешевих енергоносіїв, можливістю збільшення їх імпорту і скороченням власного видобутку, необхідністю технічного переозброєння і підвищення конкуренції свого вугілля. Однак, на відміну від зазначених країн, Франція обрала стратегію поступового згортання власної вугільної галузі [470].

У таких країнах, як США, Австралія, ПАР, на відміну від країн Європи, наявність значних запасів вугілля та їх сприятливе для рентабельного видобутку залягання, сприяє тенденції нарощування вуглевидобутку й експорту вугілля.

**США.** Можна виділити чотири фактори процесу перебудови:

- необхідність зниження витрат виробництва та зниження вартості продукції, шляхом впровадження у виробництво новітніх технологій;
- зміна традиційних маршрутів транспортування і перерозподілу центрів видобутку вугілля шляхом зниження частки високо сірчистого вугілля;
- невизначеність у найближчому майбутньому щодо рівня попиту на електроенергію, тенденції зміни цін на природний газ та можливостей комерційного використання відновлюваних джерел енергії (гідро-, сонячної);
- необхідність зосередження зусиль компаній на одному основному виді діяльності, який забезпечує редиверсифікацію найбільшою мірою. Це відноситься до компаній, які намагалися диверсифікувати свою діяльність щодо видобутку і розподілу вугілля.

Конкурентна боротьба за вугілля розвертається в двох напрямках: по-перше, це конкуренція в рамках світового ринку вугілля; по-друге, це конкуренція вугілля з альтернативними видами палива, насамперед з такими як

газ, нафта, ядерне паливо. Таким чином, основним мотиваційним фактором є прагнення підвищити ефективність вугільних енергетичних галузей. Енергетична політика США націлена виключно на досягнення лише домінуючої мети – обмеження викидів в атмосферу які спричиняють «парниковий ефект», незалежно від витрат [471].

У цей час відбувається реструктуризація всього вугледобувного комплексу та системи розподілу вугілля, скорочується видобуток і споживання високо сірчистого вугілля із східних регіонів країни. Реорганізація вугледобувного виробництва США йде шляхом концентрації гірничого виробництва та скороченням кількості робітників, збільшення потужності шахт, а також шляхом підвищення навантаження на діючі вибої [472, 473].

До *другої* групи можна віднести країни, що розпочали перетворення вугільної та суміжних галузей у зв'язку з початком ринкових перетворень усієї економіки країни, а саме Польщу, Чехію, Угорщину та інші.

**Польща.** Економічна реформа, розпочата в Польщі у 1990–1992 рр. була розрахована на період до 2000 р. Вона викликала суттєві структурні перетворення у національній вугільній промисловості, які мали на меті: досягнення рентабельності роботи галузі в найкоротші терміни; забезпечення конкурентоспроможності вугілля на світовому ринку; використання фінансових можливостей вугільної галузі для здійснення капіталовкладень у подальший розвиток виробництва.

Особливу увагу було приділено впровадженню чистих технологій на етапі збагачення вугілля та підготовки його до спалювання з метою підвищення конкурентоспроможності вугілля на ринку енергоносіїв. Вже за період 1990–1998 рр. було проведено переоснащення 14 збагачувальних підприємств. У наступні кілька років було модернізовано ще 9 установок промивання енергетичного вугілля, і в короткостроковій перспективі було введено в експлуатацію 5 нових збагачувальних підприємств.

У 1998 р. урядом Польщі була прийнята нова програма «Реформа кам'яновугільної промисловості Польщі на період 1998–2002 рр.», що визначила



такі основні цілі: реструктуризація видобувного сектора для забезпечення ефективності його функціонування в умовах ринкової економіки; задоволення внутрішнього попиту на вугілля та забезпечення економічно виправданого рівня експорту при суворому дотриманні екологічних вимог [474].

Країни *третьої* групи (Азійського регіону) із значними потребами у вугільній сировині та збереженням ролі вугілля як енергоносія в подальшому.

**Китай.** З 1992 р. держава поступово почала знижувати контроль за цінами на китайське вугілля, але це призвело не до лібералізації, а до того, що ціни в результаті стали встановлюватися за договорами між великими державними компаніями-виробниками та великими закупниками кінцевої продукції. В результаті, внутрішні ціни за 1 т вугілля перевищували на 5–7 доларів США міжнародні ціни на високоякісне кам'яне вугілля [475]. В ході реструктуризації підвищився рівень механізації на шахтах та ступінь комплексної механізації при видобутку вугілля. Впроваджується чисте виробництво та використання вугілля, заохочується розробка та розповсюдження технологій виробництва очищеного вугілля та дослідження по застосуванню рідкого вугільного палива.

**Індія.** Вугілля, швидше за все, залишиться національним надбанням Індії в найближчому майбутньому. Цьому сприяють наступні фактори: видобуток вугілля в Індії заполітизований, економічні питання займають другорядне місце, близько 33 % вугілля видобувається незаконно; приріст потужностей вугільних ТЕС досі не виправдав очікувань; нестійкий баланс в енергосистемі – країна має застарілу систему ліній електропередач. Приріст потужностей відновлюваних джерел енергії ускладнює роботу національних операторів мереж [476].

**В'єтнам.** Вугілля було і залишаться на перспективу базовим стратегічним паливом для електроенергетики, металургії і предметом експорту. Для підвищення рівня застосування механізованих технологій, модернізації виробничого процесу та ефективності виробництва на шахтах, було створено базу геологічних даних для задоволення вимог до застосування механізованої технології та модернізації шахт [477]; розроблено рішення по інтенсивному

комплексно-механізованому відпрацюванню запасів вугільних пластів безвибуховим способом; проінвестовано роботи на кожній стадії виробництва.

До *четвертої* групи країн можна віднести безпосередньо країни СНД, що перебувають на перехідному до ринкової економіки етапі.

**Казахстан.** Вугільні шахти Карагандинського басейну пройшли наступні етапи свого структурного перетворення: перший етап 1991–1996 рр. період спаду виробництва та всіх техніко-економічних показників. В цей час вугільні шахти басейну, отримуючи державну підтримку та дотації, були змушені повністю припинити роботи з розкриття нових горизонтів, удосконалення вентиляційних та підйомних комплексів, оновлення технологічного обладнання та ін. Крім того, у цей період багато низькорентабельних і неперспективних шахт були ліквідовані. В ці ж роки колишнім міністерством енергетики та паливної промисловості республіки Казахстан була розроблена «Генеральна схема розвитку вугільної промисловості до 2005 р.».

**Киргизстан.** На здійснення реструктуризації вугільної галузі Киргизстану впливають економічні та політичні фактори. Серед основних положень щодо виведення вугільної промисловості республіки із кризового стану слід віднести: підвищення конкурентоспроможності вуглевидобувної промисловості шляхом комплексної переробки вугілля з метою отримання рідкого, газоподібного і брикетного палива та інших хімпродуктів; підземну газифікацію вугілля.

**Росія.** В Росії процес реструктуризації вугільної промисловості розпочався з 1993 р. Метою було створення високорентабельного виробництва вугілля, ефективно функціонуючого в сучасному ринковому середовищі на основі повного самофінансування. Основними напрямками реструктуризації вугільної промисловості були: створення прибуткового вугільного виробництва на базі перспективних та стабільно працюючих підприємств; ліквідація збиткових неперспективних та виділення непрофільних підприємств; трансформація сформованої системи управління вугільною промисловістю.

**Україна.** Аналіз реструктуризації вугільної галузі інших країн та порівняння з передовим зарубіжним досвідом дозволили визначити теоретичні

особливості реструктуризації вугільних шахт України, які зумовили низьку ефективність вуглевидобутку, а саме: перебудова вугільної галузі проведена без науково обґрунтованої державної стратегії розвитку енергетики та концепції реструктуризації; відсутність теоретичної та правової бази реструктуризації вугільних підприємств у період з 1992 р. по 1996 р.; недосконалість механізму розподілу вугільних шахт на групи рентабельності. Був значно спрощений порядок розподілу дотацій, а також встановлено критерій з економічної доцільності реконструкції шахти без урахування соціального та екологічного аспектів; наявність елементів суб'єктивізму під час проведення щорічної оцінки групування вугільних підприємств; дотування вугільних підприємств з використанням методу визначення вартісних еквівалентів продукції з метою відшкодування граничних витрат виробництва, яке не стимулювало підвищення ефективності вуглевидобутку; відсутність комплексного підходу з питання закриття вугільних підприємств, системи оптимізації соціальних та екологічних наслідків, недосконалість механізму обґрунтування доцільності закриття шахт, нечіткість у визначенні критерію закриття шахт.

Існуючий механізм реструктуризації українських вугільних підприємств фактично було зведено до щорічного перерозподілу державних коштів та контролю за їх використанням, без належного розрахунку економічної ефективності діяльності кожної окремої шахти.

При значному терміні окупності капітальних вкладень на вугільних шахтах та високому рівні виробничого ризику, законодавчо розроблений механізм реструктуризації не дозволяв шахті підвищити ефективність своєї діяльності та перейти до групи рентабельних шахт [478].

До основних факторів, що викликали зниження ефективності роботи вугільних шахт слід також віднести: невчасне та поспішне проведення корпоратизації у вугільній галузі, не враховуючи її наслідків, на фоні інфляції та бартеру; дефіцит коштів не дозволяв підтримувати рентабельність та платоспроможність одночасно всіх вугільних шахт, а відбір пріоритетних шахт зазвичай не проводився; встановлення вільних цін на вугільну продукцію

узаконило розпродаж вугілля за заниженими (договірними) цінами, що призвело до зростання боргів із заробітної плати, накопичення кредиторської заборгованості та стало поштовхом для запуску механізму банкрутства.

Ціни на цей період не відображали реальних витрат на видобуток вугілля, а механізм виділення дотацій виробляв у підприємств споживацької психології. Штучно створена різниця між ціною і собівартістю являла собою кошти, які шахта і могла отримувати при обґрунтованому ціноутворенні.

Таким чином, стратегія державного вугледобувного підприємства в Україні регулювалася державою за допомогою фінансування та низки програм реформування галузі та ліквідації збиткових шахт. Діючі методичні розробки і положення мали поверхневий характер та не охоплювали проблем, що стосувались реструктуризації. Ці обставини призвели до ліквідації збиткових підприємств без урахування економічних, соціальних та екологічних наслідків.

## **8.2 Дослідження роликів напрямних посудин для руху у канатно-профільних провідниках армування стовбуру**

Видобуток корисних копалин у підземний спосіб будь-якого гірничодобувного підприємства відбувається за допомогою вертикальних або похилих стовбурів, які є довгостроковою капітальною спорудою, та забезпечують основні транспортні та комунікаційні зв'язки поверхневого комплексу споруд із підземною частиною підприємства. З розвитком гірничого підприємства та видобування корисних копалин з більш глибоких горизонтів або розробки рудних тіл на більшій глибині найменші капітальні витрати на будівництво досягаються при використанні вертикальних стовбурів. Підйомний комплекс підприємства має 4-6 і більше вертикальних та похилих стовбурів, на будівництво, утримання та експлуатацію вертикальних стовбурів припадає значна частка витрат у підйомному комплексі. Одним з найбільш важливих елементів вертикального стовбура є армування, яке забезпечує спрямований рух підйомних посудин.

Розповсюдження знайшли такі види армування:

- жорстке (з рейковими та коробчастими провідниками);
- гнучке, де в якості напрямних провідників застосовують сталеві канати (канати зі сталевим сердечником, закритої конструкції, та інше). Кожен з вищезгаданих типів армування має свої переваги та недоліки.

Жорстке армування дозволяє забезпечити високу швидкість руху підйомних посудин, надійність і довговічність, але, через дію динамічних та статичних навантажень у системі «посудина-армування» виникає: - значне зношування елементів конструкції; - необхідність великого обсягу робіт з обслуговування та ремонту; - дія значних динамічних зусиль у горизонтальному напрямку. Також іншими недоліками жорсткого армування є: - зниження аеродинамічної пропускної здатності стовбура; - необхідність значної металоємності конструкції; - високе корозійне зношування.

Гнучке армування (яке складається із канатних провідників) при порівняно невеликій металоємності та аеродинамічному опорі вентиляційного струменя, має наступні недоліки:

- обмежений термін служби канатних провідників;
- вимагають встановлення додаткових відбійних канатів не менше двох та всій довжині стовбура для клітьових підйомів;
- наявність додаткових нормативних зазорів безпеки [479] - 350 мм на бік для скіпових підйомів та 500 мм- на бік для клітьових підйомів по всій глибині стовбура, що призводить до значного збільшення діаметра стовбура та підвищення капітальних витрат при будівництві;
- вимагають значної кількості натяжних вантажів у зумпфівій частині стовбура;
- вимагають наявності дублюючого жорсткого армування в копрі та на проміжних горизонтах.

Кінематичний зв'язок посудини з провідником армування виконується за рахунок напрямних. Існуючі конструкції напрямних поділяються на напрямні ковзання та кочення.

Напрямні лапи ковзання, завдяки простій конструкції, набули широкого поширення і мають жорстку рамну конструкцію. Застосовуються у жорсткому армуванні для напрямного руху посудини у рейкових та дерев'яних провідниках, для руху коробчастими провідниками вони застосовуються у якості запобіжних, а у якості основних використовуються роликові напрямні.

Лапи ковзання обладнані вкладишами (чавунними), жорсткість яких нижче ніж провідника, під час роботи вони зношуються, також значно зношуючи і провідник, тому під час роботи з коробчастими провідниками основним напрямним пристроєм є роликовий пристрій [480].

На гірничих підприємствах найбільш поширені лапи ковзання типу УНС 1-250, УНС 6-250, УНС 7-250 (рисунок 1) та інші, які розташовуються на рамі посудини вгорі та внизу, іноді і всередині посудини.

Головним недоліком їх є високе зношування при русі посудини у викривлених провідниках, що негативно впливає на термін експлуатації армування.

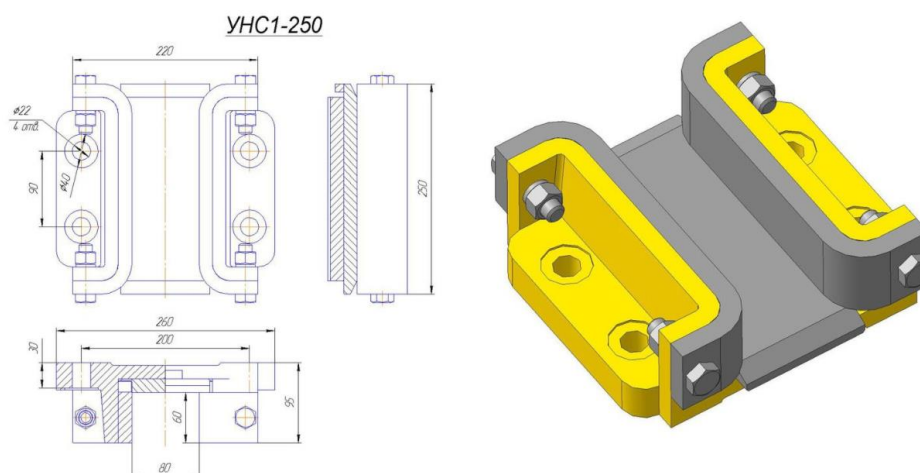


Рисунок 1. Конструкція жорстких лап ковзання УНС1-250.

При гнучкому армуванні вертикального стовбура застосовують лапи ковзання у вигляді муфт (рисунок 2) зі знімними вкладишами, які виготовляють з стійкого до зношування чавуну, модифікованої деревини або інших матеріалів. Незважаючи на це, лапи ковзання зношують канатні провідники, що призводить до скорочення терміну служби провідника до 3-4 років і заміни канатних провідників, або використання дорогих канатів закритої конструкції що, як наслідок, призведе до значного зростання витрат [479, 481].

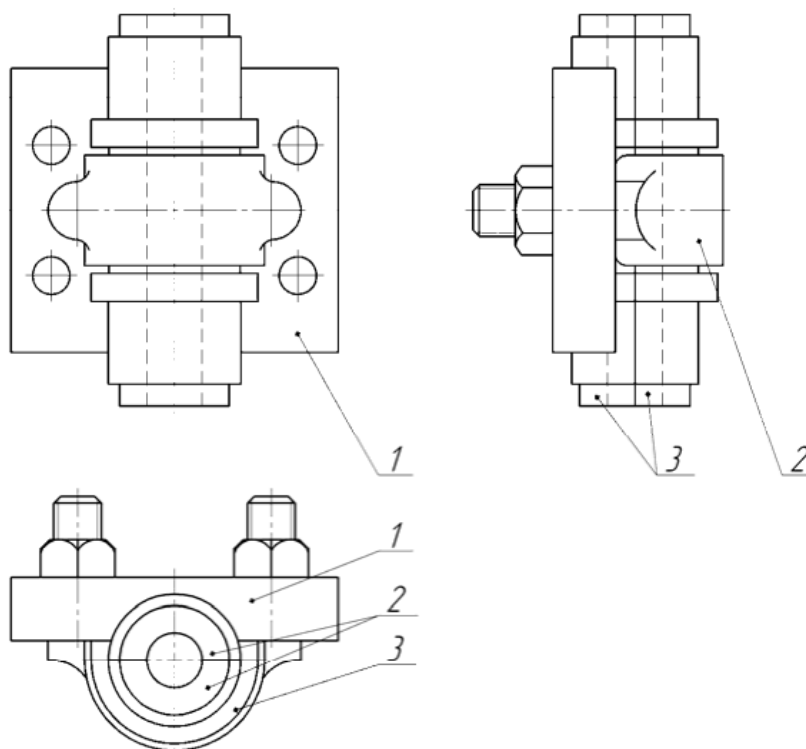


Рисунок 2. Конструкція канатної напрямної ковзання

1 – пластина кріплення; 2 – муфта; 3 – вкладиш;

Для прямого руху посудини у коробчастих провідниках жорсткого армуванням стовбуру застосовують напрямні типу НКП-260, НКП-320 конструкції ДП «Донецький науково-дослідний, проектно-конструкторський та експериментальний інститут комплексної механізації шахт «Донгіпровуглемаш» (рисунок 3).

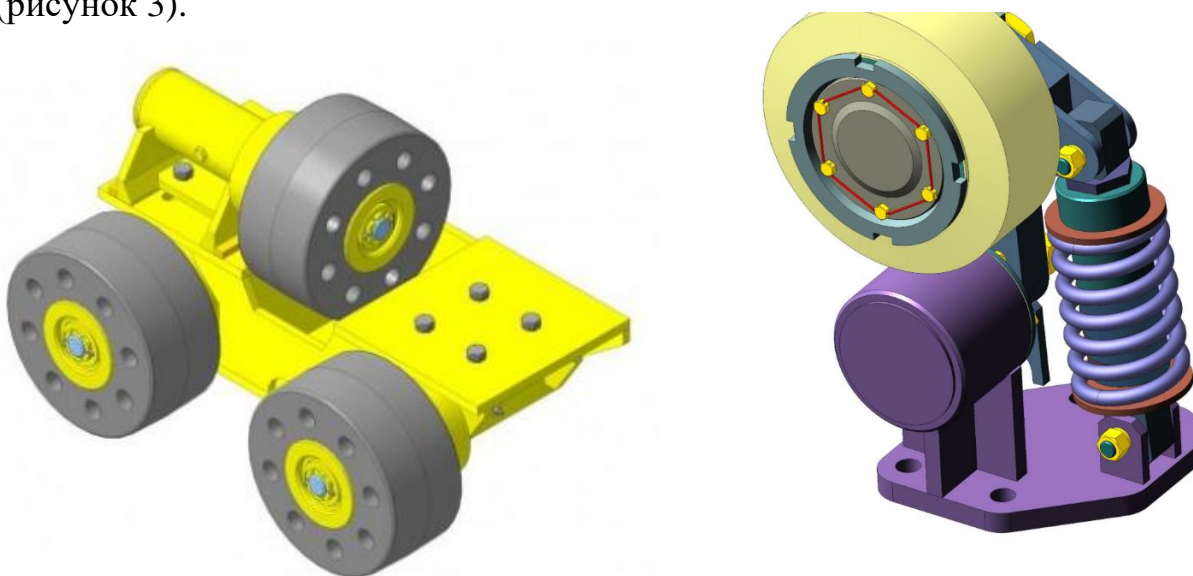


Рисунок. 3. Конструкція роликів напрямних типу НКП



Основні параметри та розміри напрямних пристроїв наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Основні параметри роликів напрямних пристроїв.

Позначення	Максимальні параметри продуктивності підйомної установки		Розміри					
	маса підйомної посудини, т	швидкість руху підйомної посудини, м\с	ширина провідника, мм	діаметр ролика, мм	ширина ролика, мм	ширина бігової доріжки ролика, мм	допустимий радіальний знос ролика, мм	діапазон регулювання положення вісі ролика, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
НКП-260-160	30	12*	160	260	120	105	25	35
НКП-260-200	30	12*	200	260	120	105	25	35
НКП-320-160	60	16	160	320	120	105	35	50
НКП-320-200	60	16	200	320	120	105	35	50

Перевагою роликів напрямних є плавний рух посудин у провідниках, відсутність стирання провідника, гасіння резонансних гармонік у зарезонансній зоні, але, має й суттєві недоліки:

- передчасний вихід з ладу підшипників кочення в роликах під дією бічних навантажень;

- через концентрацію на невеликій площі конструктивних елементів виникає заштибування вугільним пилом і просипанням вугіллям, що призводить до заклинювання роликів і, відповідно, додаткових навантажень на вісі, підшипники, кріплення та інші елементи пристрою;

- розрив гумового ролика на зварних стиках коробчастих провідників та скупченнях іржі;

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

- викривлення вісі або руйнування підшипників при динамічній дії з провідників внаслідок викривлення профілю армування стовбура через гірський тиск, динаміку та інші причини.

У зв'язку з наведеним вище недоліками ролики НКП потребують частих ремонтів і заміन, крім того рух посудини в провідниках без роликів на запобіжних лапах ковзання призводить до швидкого стирання стінки коробчастого провідника з 16мм до 5мм буквально за 1-2 місяці при високих та середніх інтенсивності підйому.

Мета досліджень.

Армування на основі канатно-профільних провідників у якій несучі канати з'єднані між собою жорстким огорожувальним коробом, (далі - КПП, або провідник) [482, 483, 484, 485, 488], дозволяє зберегти переваги існуючих видів армування і значно знизити їх недоліки.

Метою досліджень є розробка конструкцій засобів кінематичного зв'язку КПП та посудини для зменшення тертя та збільшення надійності зв'язку.

Оскільки, огорожуючий профіль КПП має меншу товщину стінки, і зважаючи на вищенаведені недоліки існуючих напрямних пристроїв руху підйомних судин, в основу дослідження покладено завдання- пошук і розробка високоефективних і високонадійних конструкцій направляючих пристроїв підйомних судин у лобовому та бічному напрямку, що працюють спільно як з КПП, жорсткими коробчастими провідниками армування ствола, впровадження яких дозволить:

- запобігти передчасному виходу з ладу підшипників кочення в роликах під дією бічних навантажень;

- знизити рівень відповідальності обслуговування напрямних пристроїв;

- знизити частоту розриву гумового ролика на зварних стиках коробчастих провідників та скупченнях іржі;

- уникнути викривлення вісі або руйнування підшипників при динамічній дії з провідників внаслідок викривлення профілю армування стовбура через гірський тиск, динаміку та інші причини;

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

- значно, в 2-3 рази, підвищити термін безаварійної експлуатації та надійності напрямного пристрою;

- знизити рівень лобових коливань у 2-3 рази за фактором ролика;

- знизити рівень бічних коливань у 1.5-3 рази за фактором ролика;

- підвищити надійність кінематичного зв'язку у системі «посудина-провідник»;

- значно знизити частоту контакту запобіжної лапи ковзання та провідника;

- суттєво знизити знос провідника запобіжними лапами ковзання.

Матеріали та результати дослідження.

Горизонтальні сили, що впливають на посудину під час руху по глибині стовбуру по провідникам, виникають за умов:

- відхилення провідників від вертикалі;

- сили, що виникають від ексцентриситету завантаження підйомної судини;

- сили, що виникають від моменту, що крутить, в головному канаті;

- сили, що виникають від аеродинамічного впливу повітряного струменя на судину, що рухається;

- сили тертя ковзання від напрямних запобіжних лап;

Сили тертя ковзання та кочення, що діють на КПП, будуть визначатися з горизонтальної складової реакції провідника та коефіцієнтів тертя, які складатимуться з вищенаведеного переліку сил у системі «посудина-армування». Основними принципами розробки конструкцій направляючих пристроїв, виходячи з наведених вище недоліків, є:

- конструкцію жорстких башмаків ковзання залишаємо без змін, для КПП для підвищення надійності кінематичного зв'язку виконаємо їх із захопленнями;

- бічні та лобові роликові пристрої повинні мати найнадійнішу та просту конструкцію;

- для досягнення заявленого ефекту кількість бічних та лобових роликів має бути в 2 -3 рази більшою за існуючу;

- бічні ролики повинні мати можливість роботи з КПП, який демпфірує ударні коливання судини за рахунок відхилення канатів;

- забезпечувати надійний кінематичний зв'язок КПП з роликами посудини у бічному та лобовому напрямку.

Найчастіше при експлуатації напрямних пристроїв ролик кочення при заштибуванні пилом підшипника або викривленні його вісі в результаті удару об жорсткий провідник відбувається часткове, а потім і повне заклинювання ролика, далі починається інтенсивне зношування гумового ободу ролика і починає працювати лапа ковзання. Лапа ковзання не демпфірує коливання, і в місцях викривлення провідників починається інтенсивне зношування лобової поверхні профілю жорсткого провідника. Робота лапи ковзання з КПП призводить до меншого зношування, оскільки провідник може згинатися і гасити динаміку взаємодії лапи і КПП.

На рисунку 4 зображено переріз вертикального стовбура ф7000 мм, обладнаного двома скіповими підйомними машинами з вугільними скіпами типу СНТ-35 -1, що рухаються по КПП - 3, з гнучким кріпленням до консольно-демпфуючих розстрілів 2 [483, 490], де 4 - бічний ролик для збільшення зазорів між судинами), а 5 – бічний ролик з ребордою для підвищення кінематичного зв'язку ролика та КПП; 8 – сполучна планка суміжних КПП між судинами однієї підйомної установки, для збільшення жорсткості провідника на ділянці зустрічі судин.

На рисунку 5 зображена схема армування, в якій всі КПП мають гнучке кріплення до консольно-демпфіруючого розстрілу (далі – КДР) і не мають близько розташованих суміжних провідників на одній горизонтальній прямій. Яруси КДР розташовані з кроком 50м по глибині стовбура, але на ділянці зустрічі судин у середині стовбура їх крок стає дискретним спочатку він зменшується до 12м, потім до 8м, кілька прольотів він залишається постійним, далі збільшується до 12м і далі до 50м [484, 489] дана зміна кроку армування здійснюється з метою зниження прогинів КПП у місці зустрічі посудин.

У схемі армування, що на рисунку 5 всі бічні ролики 5 мають реборду 5.1. для збільшення кінематичного зв'язку між посудиною та провідником, де 9 – запобіжна лапа ковзання.

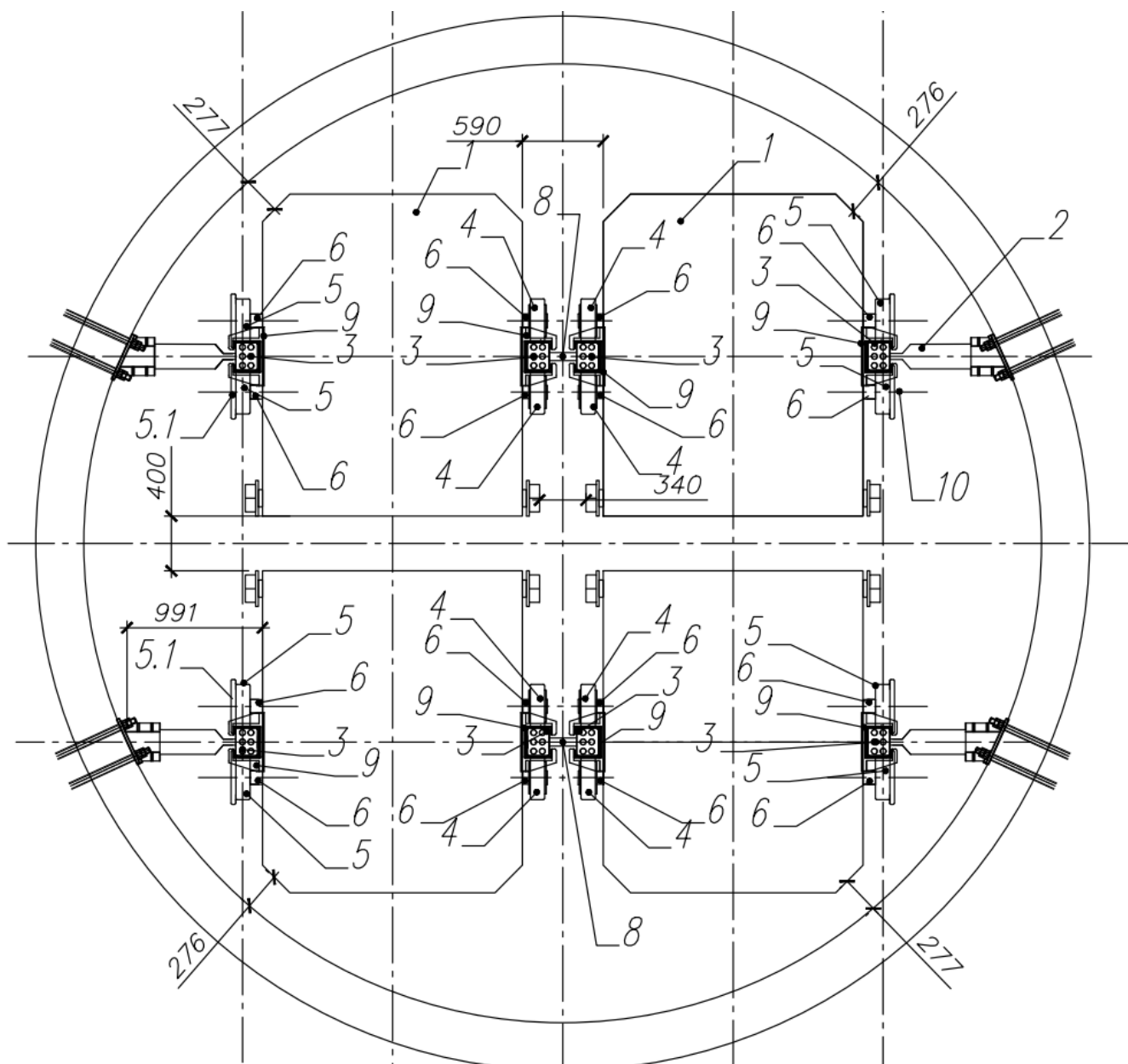


Рисунок 4. Перетин стовбура з КПП з судинами та направляючими пристроями у бічному напрямку.

1 - підйомна посудина (скіп СНТ -35); 2 – консольний розстріл; 3 – канатно-профільний провідник; 4 – ролик напрямної лапи у бічному напрямку без реборди; 5 -направляючий ролик у бічному напрямку; 5.1 – реборда ролика; 8 – сполучна планка суміжних провідників; 9 – лапа ковзання із захватами.

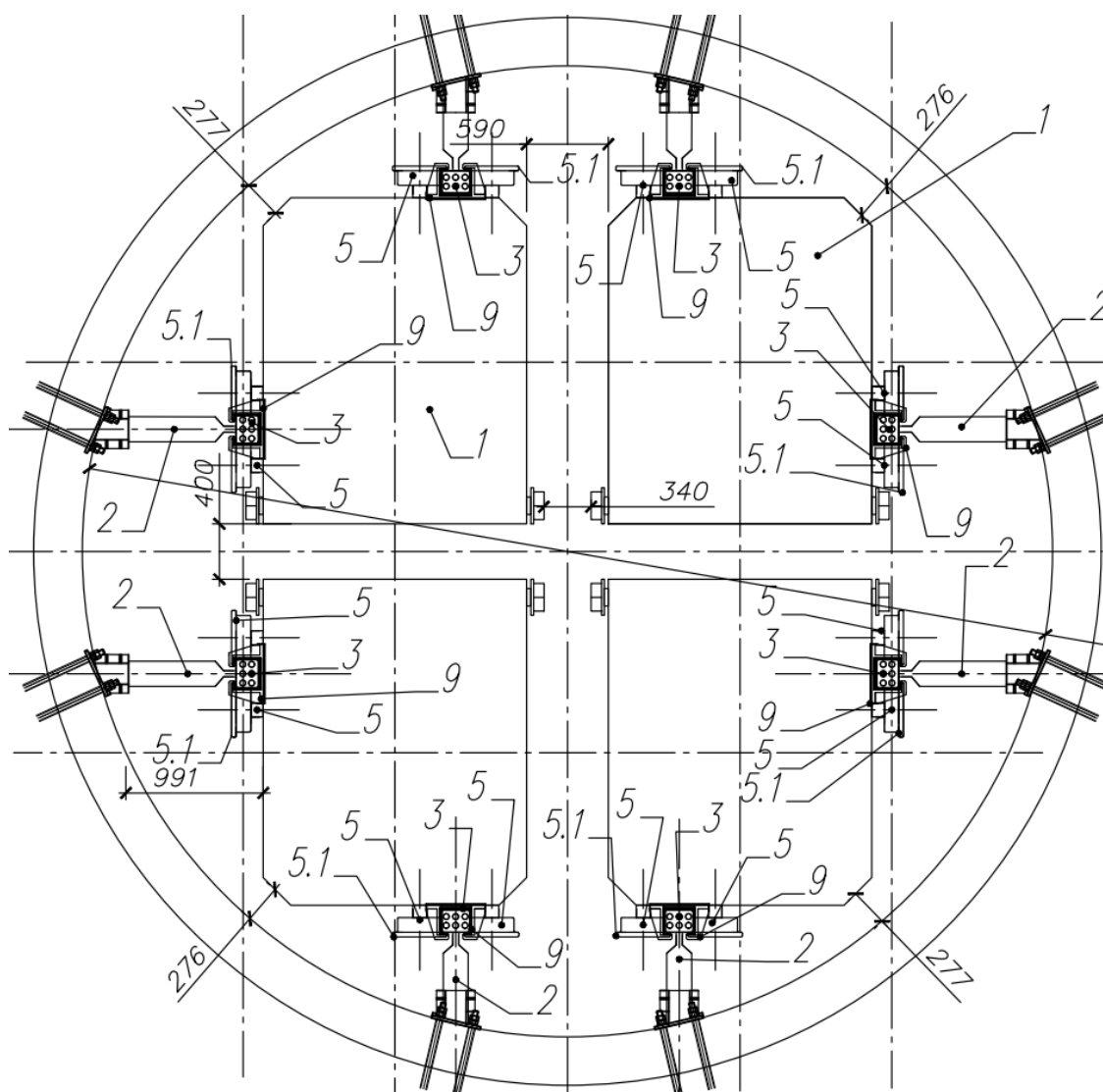


Рисунок 5. Перетин стовбура з КПП з посудинами та бічними напрямними пристроями без планок посилення.

1 – підйомна посудина (скіп СНТ-35); 2 – КДР; 3 – КПП; 5 – напрямні ролики у бічному напрямку; 5.1 – реборда ролика; 9 - запобіжна напрямна лапа ковзання.

На рисунку 6 зображено вид збоку на посудину, обладнану бічними напрямними пристроями з роликами без реборди 4 і з ребордою 5, а - представлений вид збоку посудини для схеми армування, зображеної на рис. 4, б – вид збоку посудини схеми армування, представленої на рис. 5, де 1 - посудина; 3 – провідник; 9 – напрямна лапа ковзання.

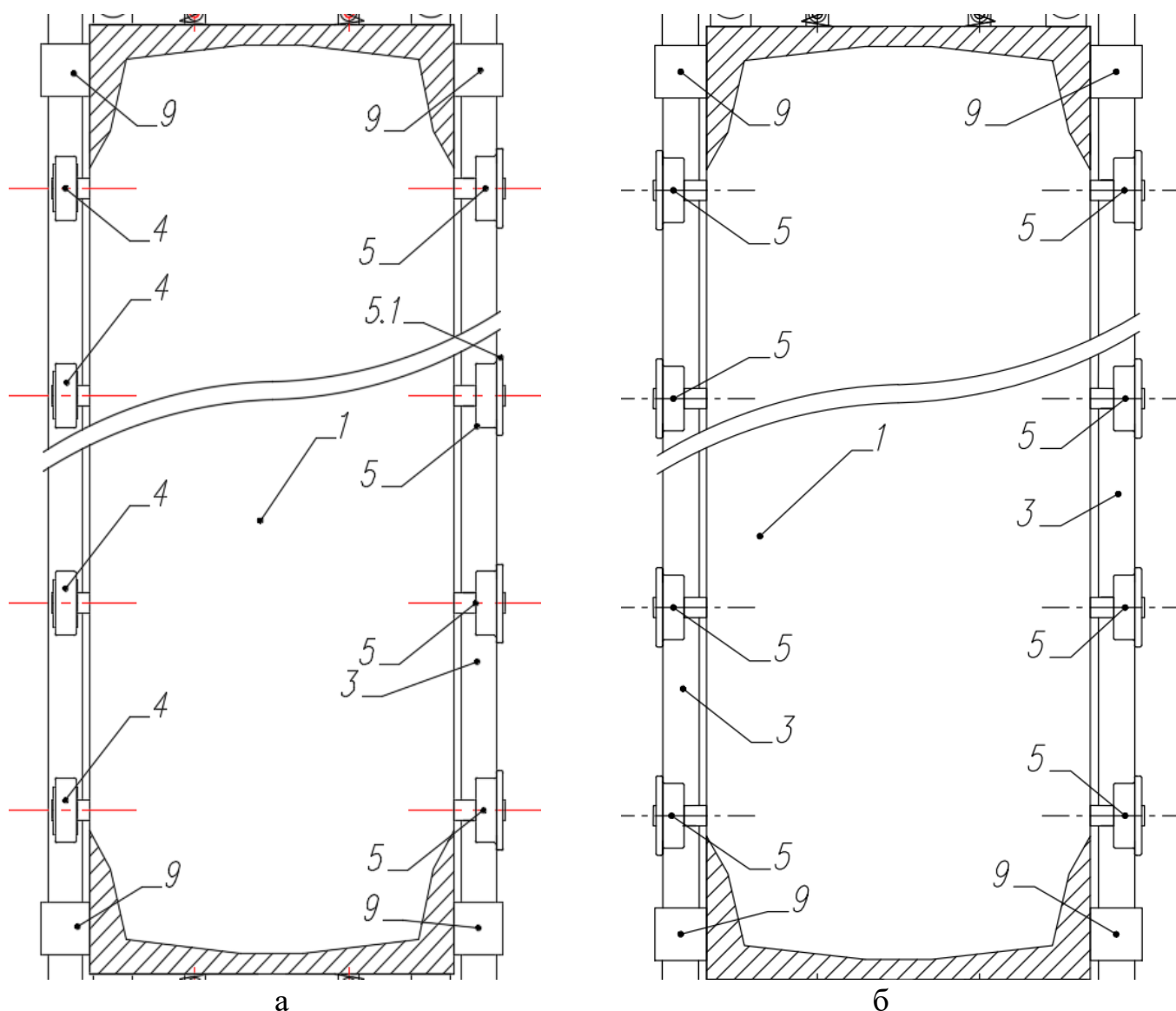


Рисунок 6. Вид збоку. Бічні напрямні пристрої посудини.

а – бічні напрямні пристрої з ребордою та без;

б – бічні напрямні устрою з ребордою;

1 – підйомний посуд; 3-провідник; 4 – ролик кочення без реборди; 5 – ролик кочення з ребордою; 9 – запобіжна лапа ковзання.

На рисунку 7 зображено вид збоку посудини для схеми ярусу, зображеної на рис. 4а, для схеми ярусу на рис. 5б в іншому розташуванні роликів ідентично схемі, представлений на рис. 6, відмінність її в тому, що ролики в даному випадку здвоєні і мають сполучну планку 10 для збільшення їх жорсткості вісей.

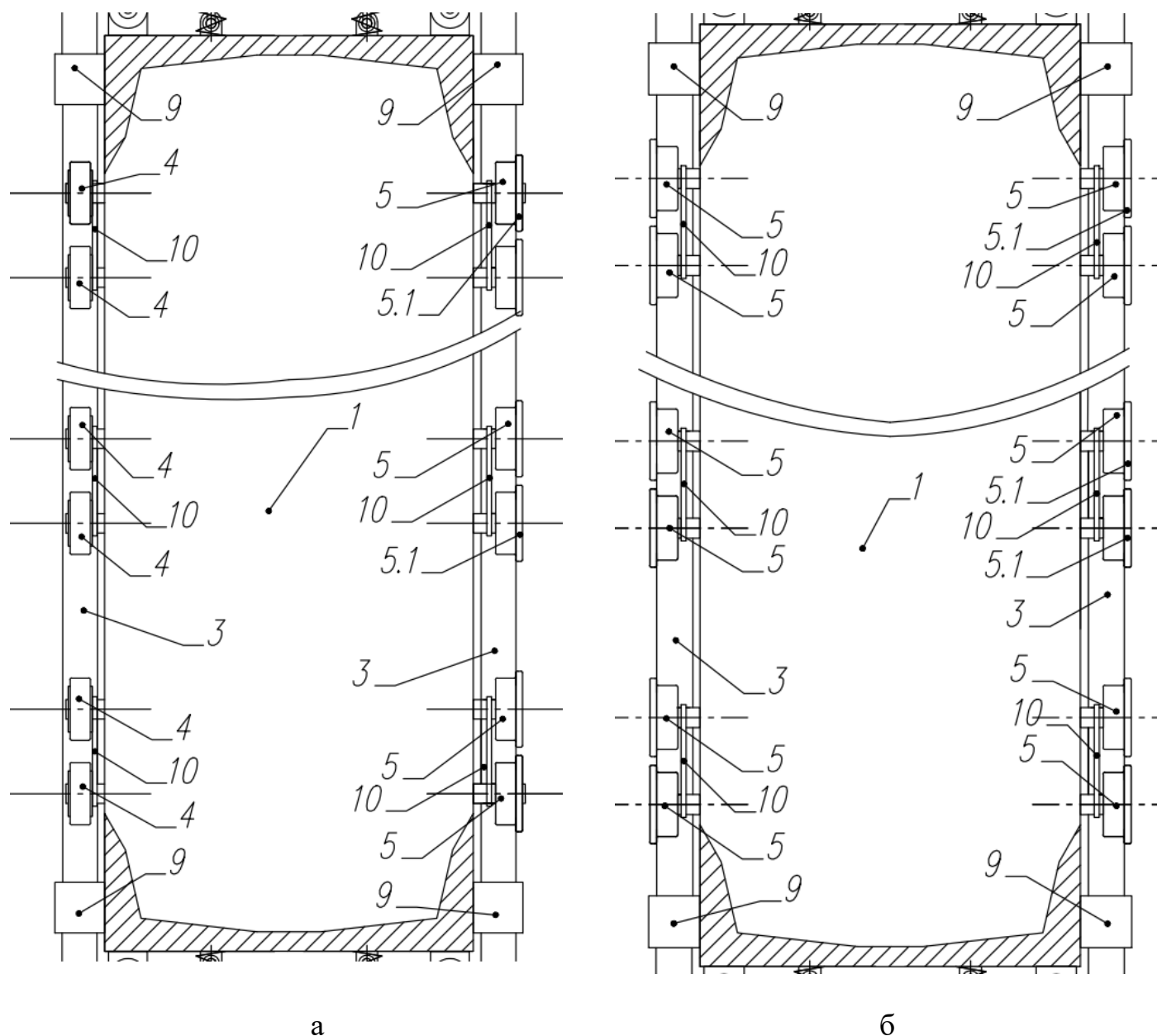


Рисунок 7. Вид збоку. Бічні двошарикові направляючі пристрої посудини.

а – подвійні бічні напрямні пристрої з ребордою та без;

б – подвійні бічні напрямні устрою з ребордою;

1 – підйомний посуд; 3-провідник; 4 – ролик кочення без реборди; 5 – ролик кочення з ребордою; 6 – амортизатор із пружинним блоком; 9 – запобіжна лапа ковзання; 10 – сполучна планка.

Дані схеми відрізняються від існуючих, тим що бічні ролики встановлюються з рівним кроком не тільки зверху та внизу посудини [481, 486], а й між



запобіжними лапами ковзання, у кількості не менше 3, а для здвоєних роликів – не менше 2 по довжині однієї бічної поверхні посудини.

Таке значне збільшення кількості бічних роликів на посудину надійної, недорогої конструкції дозволить досягти всіх вище перерахованих цілей дослідження та розробки.

На рисунку 8 зображено переріз стовбура з напрямними пристроями в лобовому напрямку.

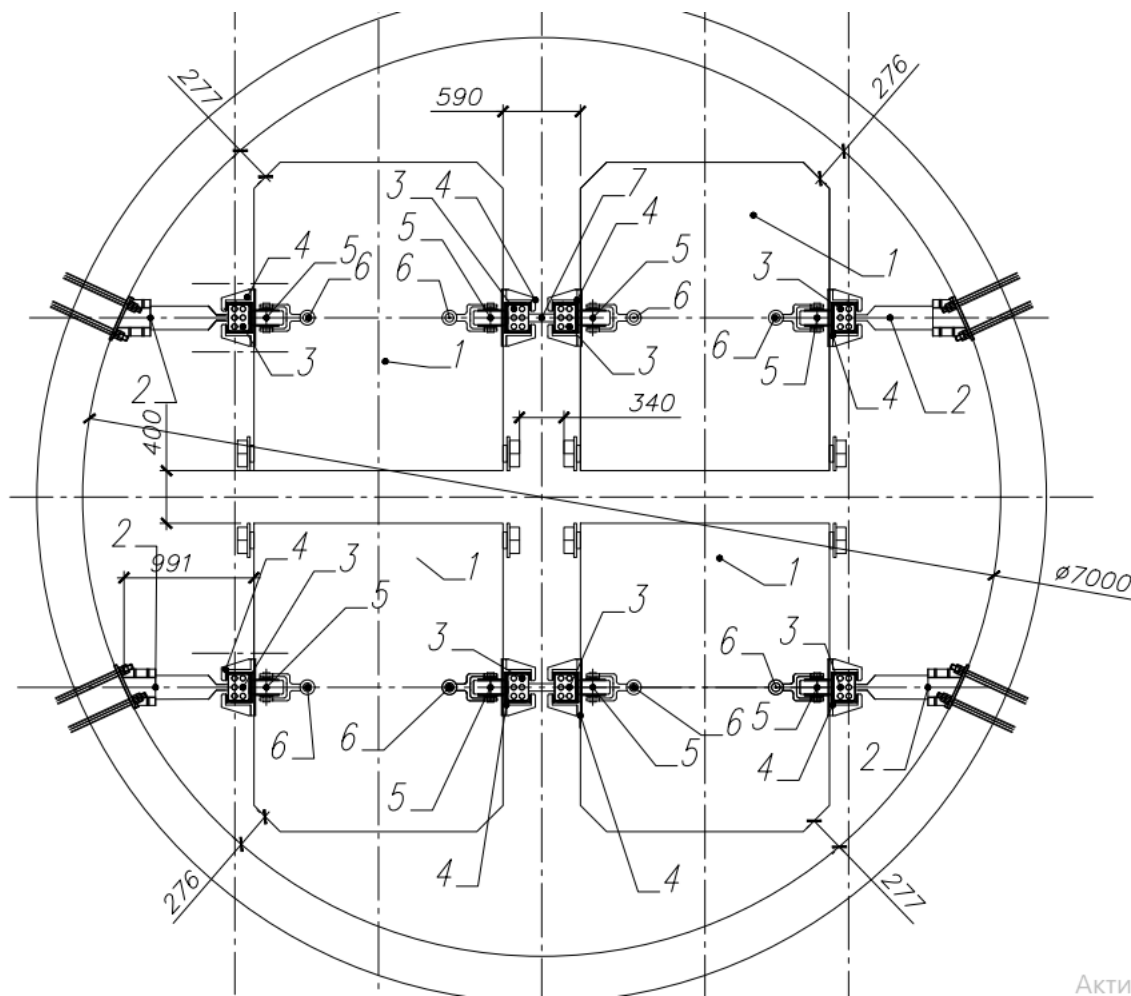


Рисунок 8 - Перетин стовбура з напрямними пристроями в лобовому напрямку при симетричному розташуванні КДР щодо однієї посудини.

1 - підйомна посудина (скіп СНТ -35); 2 – КДР; 3 – КПП; 4 – запобіжна лапа ковзання; 5 – блок напрямних роликів у лобовому напрямку; 6 – амортизатор із пружинним блоком.

Як видно із рисунка 8, КПП працює з посудиною і має запобіжні лапи ковзання із захопленнями, для зниження прогинів КПП між посудинами однієї

підйомної машини встановлюються з'єднувальні планки 7, які дозволяють вдвічі збільшити жорсткість КПП на цій ділянці лобовому напрямку. Розташування на ділянці зустрічі посудин більшої кількості КДР [484, 489] також дозволяє знизити динамічні прогини КПП.

На рисунку 9 зображено схему армування ярусу з напрямними пристроями у лобовому напрямку, розташованими не на одній горизонтальній вісі, в цій схемі навіть при значних лобових коливаннях КПП у місці зустрічі посудин не потрібно встановлення планок посилення 7 між суміжними КПП.

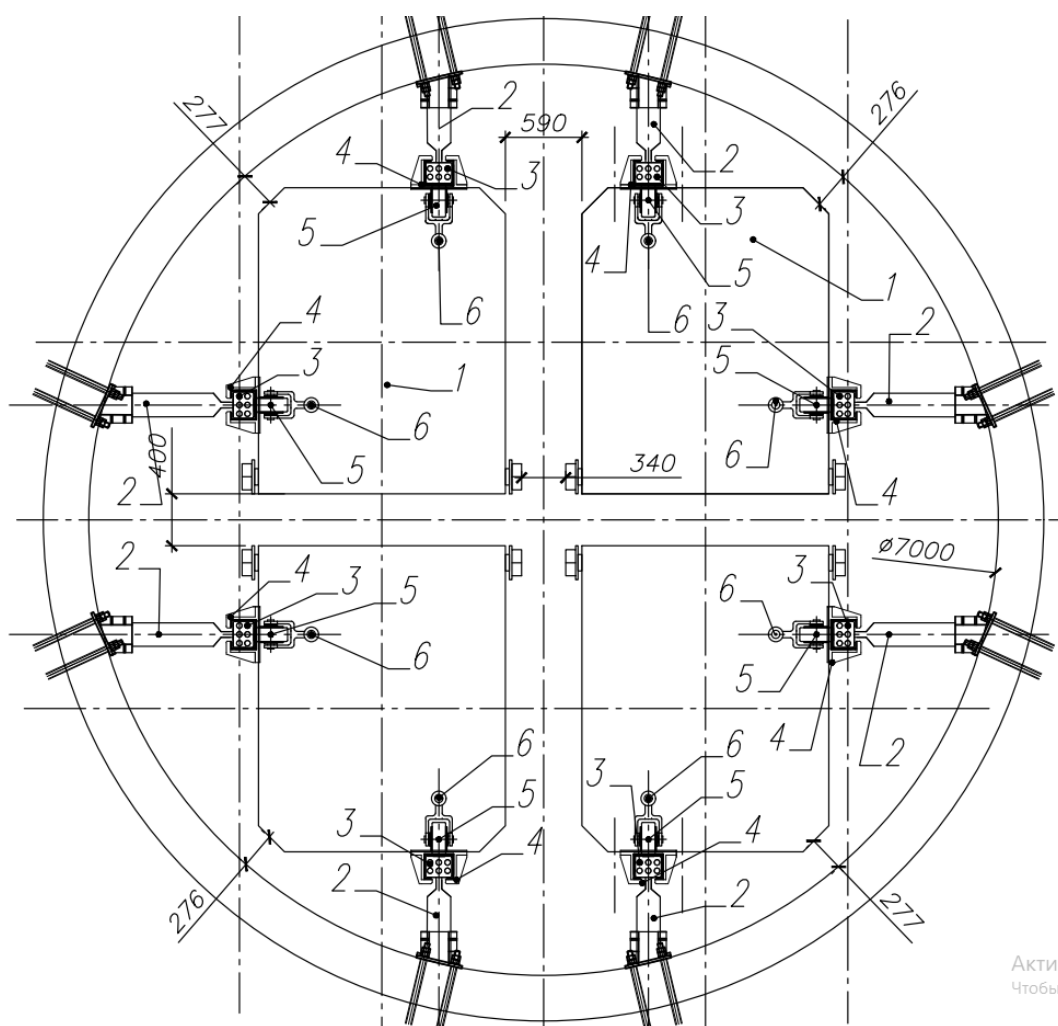


Рисунок 9 - Перетин стовбура з напрямними пристроями в лобовому напрямку при несиметричному розташуванні розстрілів щодо однієї посудини.

1 - підйомна посудина (скіп СНТ -35); 2 – КДР; 3 – КПП; 4 – запобіжна лапа ковзання; 5 – блок напрямних роликів у лобовому напрямку; 6 – амортизатор із пружинним блоком.

Розроблені конструкції роликів направляючі мають три вертикально розташовані один над одним роликів 5 (рисунок 10), закріплених у посиленій рамі 8, що має конструкцію у вигляді трикутника або літери «Т», яка охоплює їх з двох сторін.

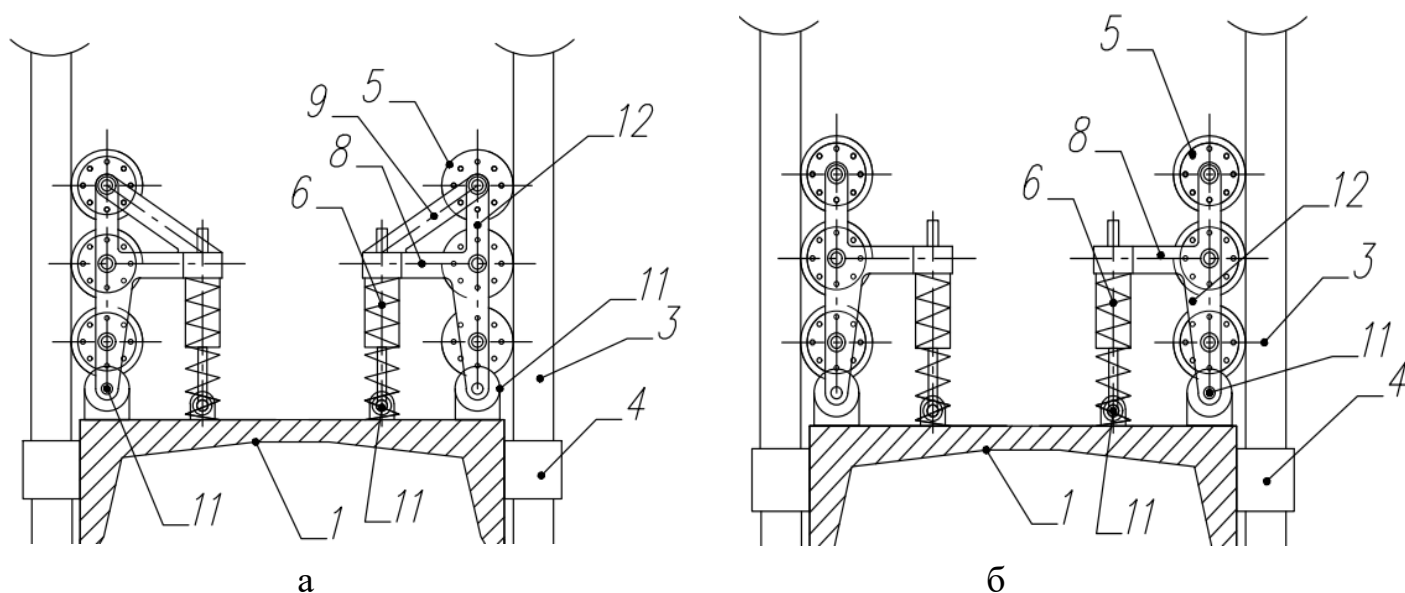


Рисунок 10. Вид збоку на трьохроликові напрямні посудини

а – трьохроликовий напрямний пристрій у вигляді трикутника;

б - трьохроликовий напрямний пристрій у вигляді літери «Т».

1 – підйомний посуд; 3-провідник; 4 – запобіжна лапа ковзання; 5 – блок напрямних роликів у лобовому напрямку; 6 – амортизатор із пружинним блоком; 8 – посилена рама кріплення роликів; 9 – посилення рами роликів; 11 – рухоме з'єднання посудини та напрямного пристрою зі провідником.

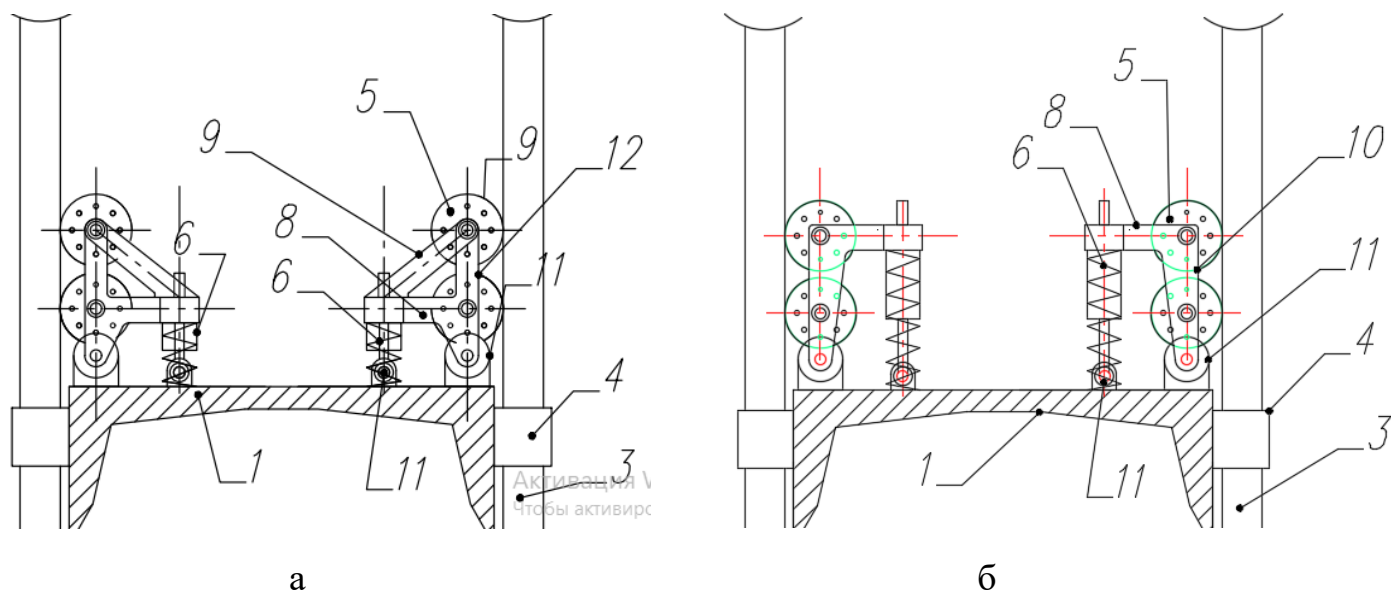


Рисунок 11. Вид збоку на дво роликові напрямні посудини.

а – дво роликовий напрямний пристрій у вигляді трикутника;

б - дво роликовий напрямний пристрій у вигляді літери «Т».

1 – підйомний посуд; 3-провідник; 4 – запобіжна лапа ковзання; 5 – блок напрямних роликів у лобовому напрямку; 6 – амортизатор із пружинним блоком; 8 – посилена рама кріплення роликів; 9 – посилення рами роликів; 11 – рухоме з'єднання судини та напрямного пристрою зі провідником.

Рама 8 з допомогою рухомого з'єднання 11 (з підшипниковим вузлом) закріплена на посудині, інший кінець її закріплений на амортизаторі 6 з пружинним блоком.

Поршень амортизатора 6 за допомогою рухомого з'єднання 11 кріпиться до посудини, рама має посилення тягою 9 і має форму у вигляді літери «Т» або у вигляді трикутника для випадків роботи на високоінтенсивних підйомах. Вся рама може рухатися в лобовому напрямку вперед-назад, зусилля притискання блоку роликів 5 до провідника 3 здійснюється за рахунок гідропружинного або пружинного амортизатора 6.

Напрямні пристрої підйомної посудини в лобовому напрямку зображено на рисунку 11, які конструктивно відрізняється від пристрою, представленого на

рисунку 10 наявністю 2 роликів замість 3, конструкція його ідентична, але розроблена до напрямку руху посудини в провідниках за допомогою двох роликів.

Висновки.

Впровадження розроблених конструкцій високонадійних та високоефективних напрямних бічних пристроїв для роботи з провідниками жорсткого армування та КПП та направляючих пристроїв у лобовому напрямку, що мають замість 4 роликів на посудину 8 – 12, та посилену, рухливу раму кріплення дозволить:

- запобігти передчасному виходу з ладу підшипників кочення в роликах під дією бічних навантажень;

- запобігти передчасному виходу з ладу підшипників кочення в роликах під дією лобових навантажень;

- знизити заштибування вугільним пилом та просипаним вугіллям конструкції НКП, що дозволить уникнути заклинювання роликів та знизить додаткові навантаження на осі, підшипники, кріплення та інші елементи пристрою;

- знизити динамічні навантаження на вісі, підшипники, кріплення та інші елементи пристрою через значне збільшення їх кількості;

- знизити рівень відповідальності технічного обслуговування напрямних пристроїв;

- знизити частоту розриву гумового ролика на зварних стиках коробчастих провідників та скупченнях іржі;

- уникнути викривлення вісі або руйнування підшипників при динамічній дії з провідників внаслідок викривлення профілю армування стовбура через гірський тиск, динаміку та інші причини;

- значно у 2-3 рази підвищити термін безаварійної експлуатації та надійності напрямного пристрою у лобовому та бічному напрямку;

- знизити рівень бічних коливань у 2-3 рази за фактором ролика;

- знизити рівень лобових коливань у 2-3 рази за фактором ролика;

## TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES: PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

- забезпечити підвищення надійності кінематичного зв'язку в системі «судина-провідник» у лобовому напрямку у 2-3 рази;
- збільшити надійність кінематичного зв'язку в системі «судина-провідник» у бічному напрямку;
- значно знизити частоту контакту запобіжної лапи ковзання з провідником у лобовому та бічному напрямку;
- значно знизити зношування провідника запобіжними лапами ковзання у бічному та лобовому напрямку.

Розробка та впровадження нових більш надійних та ефективних напрямних пристроїв у лобовому та бічному напрямку дозволить значно підвищити рівень безпечної експлуатації існуючого жорсткого армування та канатно-профільного армування з КПП, що дозволить збільшити час безперебійної роботи всього підйомного комплексу загалом у відповідності до всіх вимог «Правил безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10.» та інших нормативних правил та вимог України [484 - 490].

SECTION 9. TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.9.1

**9.1 Теоретичні та експериментальні дослідження ферментативного гідролізу крохмалю**

Процеси каталітичного гідролізу крохмалю покладено в основу низки важливих технологій отримання глюкози кристалічної гідратної, патоки крохмальної, глюкозних, мальтозних, глюкозно-фруктозних сиропів та деяких видів модифікованого крохмалю. Проте, ряд аспектів гідролізу полісахаридів амілози та амілопектину залишаються практично не вивченими. Гідроліз крохмалю за каталітичної дії мінеральних кислот не дає можливість регулювати вуглеводний склад гідролізатів та уникнути небажаних процесів, таких як: утворення забарвлених речовин; накопичення в гідролізаті продуктів неповного гідролізу, зокрема  $\alpha$ -гентиобіози, яка має  $\alpha$ -1,6-глюкозидні зв'язки та ін. Ферментативний гідроліз, завдяки високій специфічності, дозволяє отримувати гідролізати високої чистоти певного вуглеводного складу.

За допомогою методів комп'ютерної хімії було змодельовано процеси гідролізу фрагментів молекул крохмалю з  $\alpha$ -1,4- та  $\alpha$ -1,6- глюкозидними зв'язками при каталітичній дії мінеральної кислоти та ферментів з метою виявлення передумов утворення барвних речовин внаслідок розриву C-C зв'язків з утворенням спряжених систем (хромофорів). За допомогою квантово-хімічних розрахунків було вивчено зміну електронної будови фрагментів амілози та амілопектину в ході гідролізу. Була розрахована вихідна молекула, протонувана форма (за Оксигеном  $O_g$ ) та фрагмент, який моделює гідроліз крохмалю за участю ферментів. Для моделювання було прийнято наближення, що протонування по  $O_g$  та  $OH-$  по  $C_1$  може ілюструвати механізм ферментативного гідролізу.

Довжини зв'язків і заряди на атомах, що задіяні в реакції гідролізу, представлені на рис. 1. Показано, що у вихідній молекулі (рис. 1a) на атомах Оксигену зосереджений суттєвий негативний заряд, зумовлений індуктивним

ефектом; тому на сусідніх атомах Карбону виникають позитивні заряди, особливо на атомі C<sub>1</sub>, який зв'язаний з двома атомами Оксигену. Такий розподіл електронної густини створює передумови для розриву зв'язку C<sub>1</sub>-O<sub>g</sub> при гідролізі.

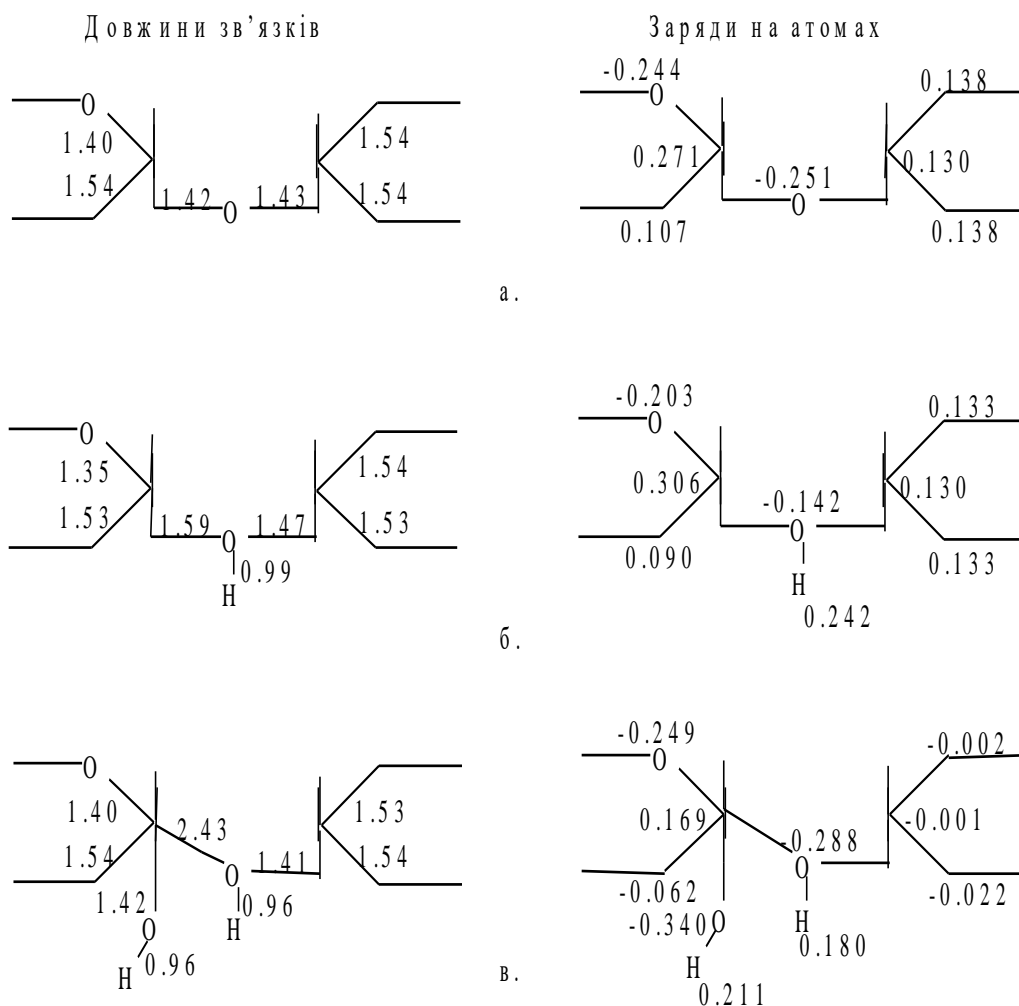


Рис. 1. Довжини зв'язків та заряди на атомах (для  $\alpha$ -1,4-глюкозидного зв'язку):

а.- вихідна модель; б.- протонувана форма (дія кислоти);

в.- фрагмент при дії ферменту

При моделюванні кислотного гідролізу розрахунки були виконані для протонуваної форми (рис. 1б) по атому Оксигену в  $\alpha$ -1,4-глюкозидному зв'язку. Встановлено, що відбувається значне зменшення величини негативного заряду на атомі Оксигену в  $\alpha$ -1,4-глюкозидному зв'язку, і дещо менше – на атомі Оксигену в піранозному кільці. Водночас спостерігається деяке збільшення



величини позитивного заряду на атомі Карбону  $C_1$ ; заряди на інших атомах практично не змінюються.

На рис. 1б показано також, що протонування веде до суттєвого подовження зв'язку  $C_1-O_g$  в  $\alpha$ -1,4-глюкозидному зв'язку, що сприятиме остаточному його розриву. Деякого подовження зазнає і зв'язок  $O_g-C_4$  в  $\alpha$ -1,4-глюкозидному зв'язку, в той час, як зв'язок  $C_1-O$  в піранозному кільці зменшився на 0,05 Å.

За умов ферментативного гідролізу при одночасному приєднанні  $H^+$  і  $OH^-$  зміни у просторовій і електронній будові значно більші (рис. 1в). Так, наприклад, негативні заряди на атомах Оксигену, на відміну від протонування, дещо зростають порівняно з вихідною молекулою. Значно зменшується заряд на атомі Карбону  $C_1$ , внаслідок приєднання до нього групи  $OH^-$ . Одночасне приєднання протона  $H^+$  і негативно зарядженої групи  $OH^-$  ліквідує дефіцит електронної густини на атомах Карбону  $C_3$ ,  $C_4$  і  $C_5$  другого піранозного кільця. Така електронна будова призводить до того, що зв'язок  $C_1-O_g$  суттєво збільшується (2,43 Å) і набуває практично іонного характеру.

У  $\alpha$ -1,6-зв'язку помітні більш глибокі зміни, зокрема зв'язок  $C_1-O_g$  при протонуванні подовжується з 1,43 Å до 1,54 Å і відповідає довжині зв'язку  $C-C$  (1,54 Å). При ферментативному гідролізі зв'язок  $O_g-C_6$  подовжується з 1,43 Å до 2,63 Å та може легко дисоціювати на іони.

Привертають увагу помітні зміни у розрахованих значеннях валентних кутів  $\alpha$ -1,4- та  $\alpha$ -1,6-глюкозидних зв'язків (таблиця 1).

При протонуванні помітно, що кут  $C_1-O_g-C_4$  змінюється зі  $114,1^\circ$  (вихідна модель) до  $116,1^\circ$ , що свідчить про незначне відхилення від оптимального значення  $117^\circ$ . Зміни в  $\alpha$ -1,6-зв'язку аналогічні. Проте, при моделюванні ферментативного гідролізу кут  $C_1-O_g-C_4$  змінюється зі  $114,1^\circ$  до  $109,4^\circ$ , а кут  $C_1-O_g-C_6$  зі  $116,5^\circ$  до  $96,3^\circ$ .

Значення валентних кутів  $\alpha$ -1,4- та  $\alpha$ -1,6-глюкозидних зв'язків

Позначення	Значення кутів, °		
	Вихідна модель	Дія кислоти (протонування)	За умов дії ферменту
При $\alpha$ -1,4-глюкозидному зв'язку			
C <sub>1</sub> - O - C <sub>4</sub>	114,107	116,105	109,387
C <sub>2</sub> - C <sub>1</sub> - O	109,702	103,857	175,859
При $\alpha$ -1,6-глюкозидному зв'язку			
C <sub>6</sub> - O - C <sub>1</sub>	116,465	113,099	96,273

Ще більш глибокі зміни відбуваються при ферментативному гідролізі для кута C<sub>2</sub>-C<sub>1</sub>-O<sub>g</sub>. Він змінюється зі 109,7° (вихідна модель) до 175,6°, повертаючи при цьому площину першого глюкозидного кільця (рис. 2).

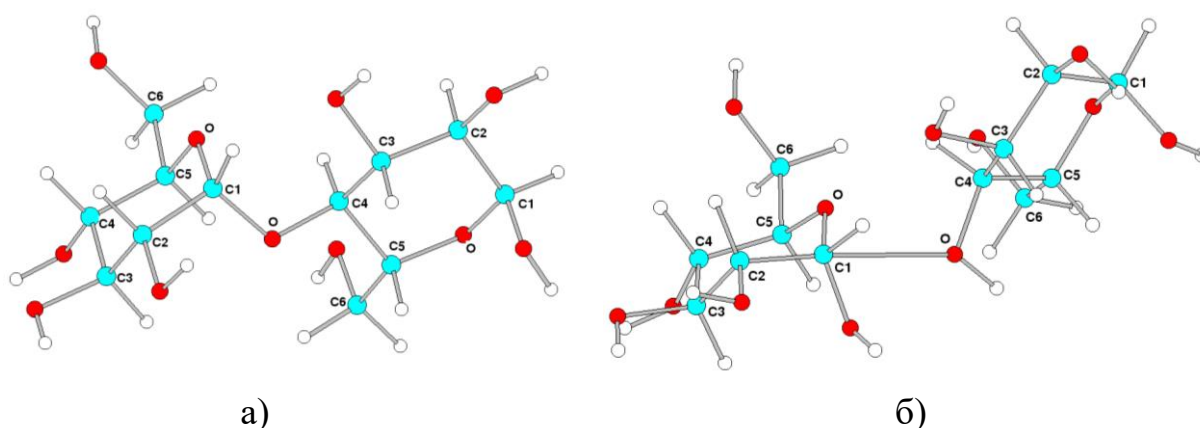


Рис. 2. Зміни просторової будови фрагмента з  $\alpha$ -1,4 зв'язком при ферментативному гідролізі: а) вихідна модель; б) фрагмент при дії ферменту

Такі зміни є результатом того, що Карбон C<sub>1</sub> зв'язаний з трьома атомами Оксигену, кожен з яких має неподілену пару електронів, які створюють сильне відштовхування. Таке зміщення кутів та площини молекули енергетично невигідне, тому і має місце дисоціація на іони.

Значні зміни в площинах та значеннях валентних кутів за умов ферментативного гідролізу, можуть свідчити про подовження ланцюгів амілози

внаслідок розкручування її спіралей, а також спіралей бокових гілок амілопектину, які містяться в аморфних і, частково, кристалічних зонах крохмальних гранул. Це може сприяти підвищенню реакційної здатності молекули та більшій її доступності для дії ферменту. Дані висновки підтверджують думку про деяке підстроювання субстрату під фермент [493]. Таких змін при кислотному гідролізі практично не відбувається (за прийнятого наближення: протонування лише по Оксигену у глюкозидних зв'язках). Цей факт пояснює необхідність жорстких умов кислотного гідролізу (недоступність реакційних центрів) і застосування високих температур для зниження енергетичного бар'єру реакції гідролізу.

Енергія активації ферментативного гідролізу, за даними різних авторів, 32,7 кДж·моль<sup>-1</sup>, чи 54,34–66,88 кДж·моль<sup>-1</sup> [492, 493]. Відмінності у значеннях, очевидно, зумовлені не розбіжністю в розрахунках, а, можливо, різними умовами при проведенні досліджень.

Енергія активації для кислотного гідролізу становить 138,6 кДж·моль<sup>-1</sup> за умов рН 1,0 [493], чи 127,49 кДж·моль<sup>-1</sup>, а за рН<3 та рН>4 відповідно становить 138,2 та 110,8 кДж·моль<sup>-1</sup> [494].

Менше значення енергії активації ферментативного гідролізу порівняно з кислотним, на наш погляд, свідчить про те, що внаслідок дії ферментів за відповідних умов (нагрівання, рН, конформаційні зміни молекул ферменту і субстрату) більш легко відбувається розрив глюкозидних зв'язків, особливо враховуючи, що енергія активації реакції розкладання глюкози 124,98 кДж·моль<sup>-1</sup> [494], тобто близька до енергії активації кислотного гідролізу. Це означає, що за умов кислотного гідролізу, неможливе гальмування реакції розкладання глюкози ні зниженням температури, ні зміною концентрації кислоти. Внаслідок розкладання глюкози в гідролізатах накопичуються барвні речовини з утворенням спряжених систем (хромофорів). Це добре узгоджується з встановленим нами подовженням зв'язку С<sub>1</sub>-О<sub>6</sub> в α-1,6-глюкозидному зв'язку до 1,54 Å і відповідністю довжині зв'язку С-С (1,54 Å).

На основі результатів квантово-хімічних розрахунків моделей кислотного та ферментативного гідролізу фрагментів молекул крохмалю обґрунтовано зниження енергії активації реакції гідролізу за умов дії ферментів, а також співпадіння енергії активації кислотного гідролізу з енергією активації кислотного розкладання глюкози, що робить неможливим у виробничих умовах уникнути стрімкого наростання забарвленості при кислотному гідролізі. Зниження енергії активації при застосуванні ферментів дозволяє отримувати гідролізати крохмалю високої чистоти за відносно низьких температур та рН близьких до нейтрального при відсутності втрат глюкози від розкладання та утворення забарвлених речовин.

Основною відмінністю гідролізу крохмалю з використанням ферментів від гідролізу за наявності мінеральних кислот є проведення цього процесу у дві стадії: розрідження крохмалю та його оцукрювання, які здійснюються за допомогою різних ферментів. На сьогодні існує велика кількість ферментних препаратів другого покоління, які відрізняються чистотою та високою стійкістю до високих температур. Проте, дослідження кінетичних закономірностей ферментативного розрідження крохмалю тривають.

Як каталізатори, ферменти знижують вільну енергію активації реакцій, які вони каталізують. Однак ферменти відрізняються від більшості інших каталізаторів тим, що залежність їхньої активності від рН і температури має характер, типовий для білків. Ферменти мають ще дві властивості, які пов'язані з їхньою білковою природою – надзвичайно висока активність та дуже чітко виражена субстратна специфічність. Просторова специфічність ферменту впливає всі кінетичні константи [492].

Метою роботи було дослідження кінетики ферментативного розрідження кукурудзяного та картопляного крохмалів залежно від концентрації крохмальної суспензії та кількості ферментного препарату. Було проведено серію дослідів з розрідження суспензій кукурудзяного та картопляного крохмалів різних концентрацій (25, 30, 35, 40 %) термостабільною  $\alpha$ -амілазою Termamyl SC (Novozymes), дозованою в кількості від 1 до 5 одиниць активності на грам сухих

речовин (од.ак./г). Гідроліз проводили протягом 1 години при температурі та рН, оптимальних для даного ферменту. У процесі гідролізу відбирали проби та визначали глюкозний еквівалент (ГЕ) йодометричним методом за Вільштеттером та Шудлем. За отриманими даними побудовано кінетичні криві, що характеризують розрідження кукурудзяного та картопляного крохмалів.

Аналіз кінетичних кривих показав, що оптимальним для кукурудзяного крохмалю є додавання 4 од.ак./г ферменту, збільшення дозування до 5 од.ак./г не призводить до збільшення швидкості процесу. У крохмальних суспензіях з масовою часткою сухих речовин 35 і 40%, навіть при збільшенні дозування ферменту ГЕ гідролізату не перевищує 20%. Для картопляного крохмалю спостерігається зовсім інша залежність. Вже при 2 од.ак./г інтенсивно розріджується 25% суспензія, а при 3 од.ак./г і суспензії більших концентрацій. Підвищення дозування до 4 та 5 од.ак./г не сприяє збільшенню швидкості процесу. Така різниця у поведінці кукурудзяного та картопляного крохмалів пояснюється особливостями їх будови: типом кристалічності, наявністю амілозо-ліпідного комплексу, співвідношенням фракцій амілози та амілопектину [495].

Використовуючи дослідні дані, було побудовано криві зміни в'язкості суспензії за різних умов гідролізу. З точки зору технології в'язкість гідролізатів не повинна перевищувати допустимі норми, щоб не створювалися проблеми при транспортуванні. Зі збільшенням дозування ферменту межі допустимої в'язкості досягає лише суспензія концентрацією 25 %, а при дозуванні 3...4 од.ак./г – суспензія концентрацією 30 %. При концентрації суспензії 40% в'язкість при розрідженні збільшується понад допустиме значення при будь-яких дозуваннях ферменту і не є технологічною..

Результати всіх проведених дослідів опрацьовано за допомогою пакету прикладних програм MathCad Professional. За методом Сімпсона і трапецій розраховано середню тривалість розріджування у кожному досліді, відповідно до якого мовою Basic в середовищі Quick Basic проведено апроксимацію функції

і визначено середній глюкозний еквівалент у кожному досліді та розраховано середню швидкість кожного розріджування.

Згідно з отриманими даними побудовано узагальнені графіки, на яких відображено зміну швидкості гідролізу та падіння фактора в'язкості суспензій кукурудзяного та картопляного крохмалів різних концентрацій при дозуванні ферменту від 1 до 5 од.ак./г (рис. 3, 4).

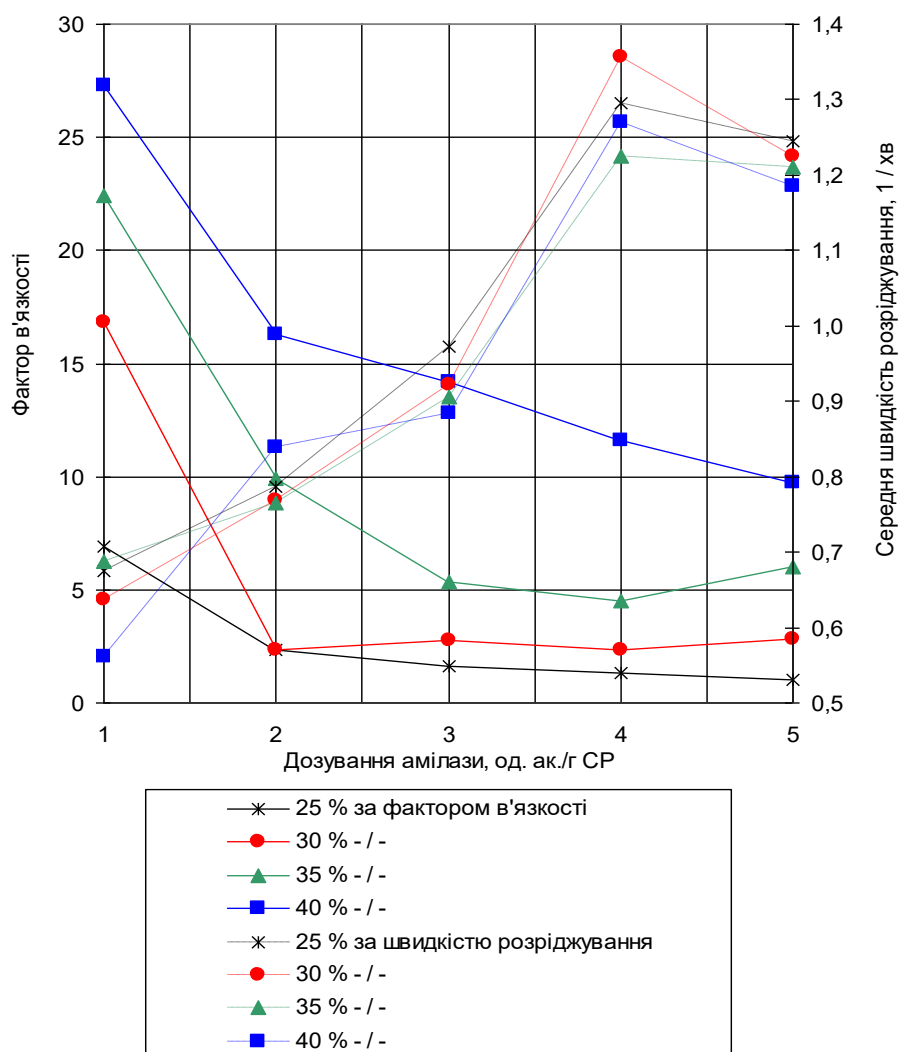


Рис.3. Залежність фактора в'язкості та швидкості розрідження кукурудзяного крохмалю від дозування ферменту

Графік залежності фактора в'язкості і швидкості гідролізу кукурудзяного крохмалю від дозування ферменту показує, що найбільша швидкість гідролізу досягається при дозуванні  $\alpha$ -амілази 4 од.ак./г, але в'язкість при такому дозуванні оптимальна тільки для суспензій концентрацією 25 та 30 %.

При розрідженні картопляного крохмалю, як видно з рис. 4, для суспензії концентрацією 25% максимальна швидкість реакції гідролізу досягається при дозуванні ферменту 2 од.ак./г, а для суспензій інших концентрацій – при 3 од.ак./г. За таких доз ферменту не перевищується і допустима в'язкість крохмальної суспензії відповідної концентрації при розрідженні.

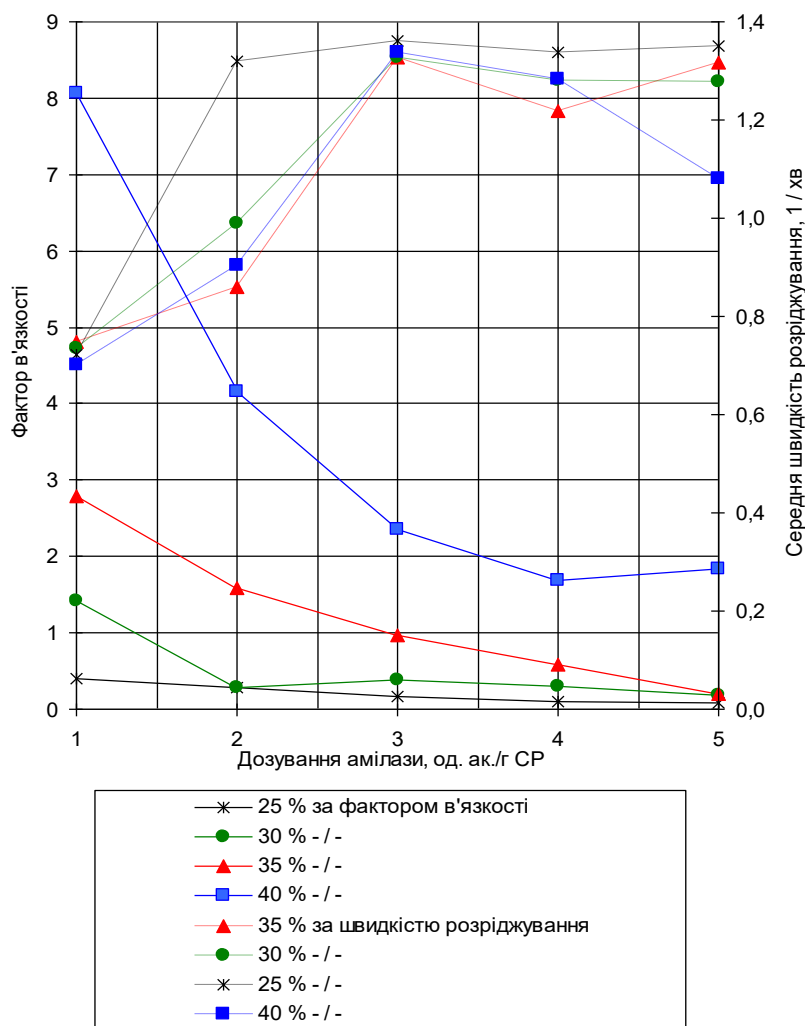


Рис.4. Залежність фактора в'язкості та швидкості розрідження картопляного крохмалю від дозування ферменту

Отримані графіки (рис. 3, 4) мають практичне значення і дають можливість за вихідними технологічними параметрами розріджування спрогнозувати хід процесу і якість отриманих гідролізатів.

В результаті проведених досліджень встановлено залежність кінетики ферментативного розріджування суспензій картопляного і кукурудзяного крохмалів різних концентрацій від кількості доданого ферменту.

## REFERENCES

1. Нетужилова Н. В. Особливості реструктуризації та перепланування промислових будівель і споруд у містах Західної України (на прикладі м. Львова) // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – 2011. – Вип. 27. – С. 250-256.
2. Базюк Д.Б., Баб'як В.І., Вознюк Л.І. Реконструкція недіючих промислових об'єктів та зміна їхнього функціонального призначення // Науковий огляд . – 2020. – Вип. 3(66). – С. 37-47.
3. Швець В. В. Реновація виробничих, промислово-складських зон з метою їх ефективного використання / В. В. Швець, Ю. В. Гордійчук // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р.
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Київ, ДП „УкрНДНЦ”, 2017.
5. Improvement of scientific approaches to the development of engineering: collective monograph / Vozniuk L. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. 562 p. Available at : DOI – DOI: 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4.1.8.
6. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture: collective monograph / Hladyshev D., Hnat H. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2023. 464 p. Available at : DOI – DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.1.1.1.
7. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні. – Київ, Мінрегіон України, 2014.
8. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – Київ, Мінрегіон України, 2016.
9. [Електронний ресурс] [https://en.wikipedia.org/wiki/Urban\\_design](https://en.wikipedia.org/wiki/Urban_design)
10. [Електронний ресурс] <https://www.cnu.org/who-we-are/charter-new-urbanism>
11. [Електронний ресурс] <https://www.terrapinbrightgreen.com/wp-content/uploads/2014/04/14-Patterns-of-Biophilic-Design-Terrapin-2014e.pdf>
12. Boyer, C. “The City of Collective Memory: Its Historical Imagery and Architectural Entertainments”/ – MIT Press, 2016. – 560 p.
13. Le Corbusier. “A Dwelling at Human Scale (4th lecture) / The Plan of the Modern House (6th lecture). ”Precisions on the Present State of Architecture and City Planning. Cambridge, MA: The MIT Press, 2020.
14. Lotman, Yuriy. “Inside the thinking worlds”. Moscow: Languages of Russian culture, 1996.



15. [Электронный ресурс] <https://www.usgbc.org/articles/leed-addenda-update-april-2023>
16. [Электронный ресурс] <https://bregroup.com/products/breeam/>
17. [Электронный ресурс] <https://www.dgnb.de/en/index.php>
18. Антонов В. Л. Градостроительное развитие крупнейших городов. Киев – Харьков – Симферополь, 2005. 644 с.
19. Криворучко Н. И. Творческий процесс в архитектуре (логические и интуитивные аспекты): дис. ... канд. арх.: 18.00.01//Криворучко Наталья Ивановна; Хар. гос. акад. гор. хоз. Харьков, 1999. 188 с.
20. Декларация по окружающей среде и развитию: принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 года. URL: [Электронный ресурс] [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/declarations/riodecl.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml)
21. Сухина Е. А. Экологические нормативы в архитектурно-градостроительном проектировании: дис. ... канд. арх.: 05.23.20 / Сухина Елена Александровна; ФГБОУ ВПО СГТУ им. Гагарина Ю. А. Саратов, 2014. 286 с.
22. Де Гарридо Л. Архитектор естественного счастья / Архитектура и проектирование // Издательский дом Сорокиной. URL: <http://www.ids55.ru/ais/articles/architect/1641-2013-09-21-09-47-59.html> (дата обращения: 08.04.2023).
23. Yudelson J. The Green Building Revolution // CEO U.S. Green Building Council. London: Island press, 2008. 270 p.
24. Кияненко К. В. Социология устойчивости против архитектуры сегрегации: <http://old.archvuz.ru/PDF/%23%2049%20PDF/ArchPHE%2349pp32-49Kiyanenko.pdf>.
25. Yeang K. Ecodesign: a manual for ecological design. GB: Wiley-Academy, 2006. 499 p.
26. [Электронный ресурс] <https://www.re-thinkingthefuture.com/2022/10/12/a8104-sustainable-architecture-strategies-for-public-building-design/>
27. <https://hmcarchitects.com/news/the-top-6-sustainable-architecture-strategies-for-public-building-design-2018-10-03/>
28. Толковый словарь Ушакова [Электронный ресурс] <https://ushakovdictionary.ru/search.php>
29. Словник медичних термінів. [Электронный ресурс] <https://pacjent.gov.pl/pacient/slovník-medichnikh-terminiv>

30. Цигичко С. П. Удосконалення еколого-естетичних властивостей архітектурного середовища великих міст (ландшафтний аспект): дис. ... канд. архіт.: 18.00.01; ХНАМГ. – Харків, 2007. – 234 с.
31. [Електронний ресурс] <https://an-drevv.livejournal.com/6844.html>
32. Кривицкая А. С. Диалектика гармонии архитектурного пространства: гармония через борьбу техники и эстетики / А. С. Кривицкая // Проблемы теории та історії архітектури України: зб. наук. праць / [редкол. В. П. Уренев (гл. ред.) и др.]; МОНУ; ОДАБА; АХІ. – Одесса: Астропринт, 2014. – Вып. 14. – С. 34 – 40.
33. Шимко В. Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование. Основы теории: Средовой подход: учебник. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Архитектура-С, 2009. 408 с.
34. Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере // В. И. Вернадский ученый, мыслитель и общественный деятель. URL: <http://vernadsky.name/neskol-ko-slov-o-noosfere-1943-1944/> (дата обращения: 15.09.2014).
35. Шубович С. А. Мифопоэтический феномен архитектурной среды: монография / С. А. Шубович; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2012. – 177 с.
36. МСА – ЮНЕСКО. Международный Союз Архитекторов. МСА и Архитектурное образование. Соображения и рекомендации. – М.: Изд-во «Архитектура-С», 2004
37. [Електронний ресурс] [https://www.architime.ru/news/mad\\_architects/chaoyang\\_park\\_plaza.htm#22.jpg](https://www.architime.ru/news/mad_architects/chaoyang_park_plaza.htm#22.jpg)
38. <https://archpaper.com/2014/02/new-york-city-zoning-board-burns-studio-gangs-solar-curve-tower-along-the-high-line/>
39. Регіональна інвестиційна політика енергозбереження: [монографія] / М. А. Вознюк; НАН України, Ін-т регіон. дослідж. ім. М.І. Долішнього. - Львів, 2015. - 413, [1] с. - (Проблеми регіон. розвитку). - Бібліогр.: с. 386-401.
40. Энергозберігаючі технології в будівництві : навч. посіб. / М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Марущак ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – 2-ге вид., виправл. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2013. – 236, [8] с. : іл. – Режим доступу: . – Бібліогр.: с. 208-214 (108 назв). – ISBN 978-617-607-514-1
41. Чепелюк Ю В. Композиція архітектурного середовища як вираження «цілого» – «єдиного»: автореф. дис. ... канд. архіт.: 18.00.01 / Чепелюк Ю. В.; Харків. дер. техн. ун. буд. та архіт. – Харків, 2001. – 31 с.
42. Hladyshev, D., et al. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture. International Science Group, 2023.

43. Березюк О.В. Визначення параметрів машин для поводження з твердими відходами : монографія /О.В. Березюк, М.С. Лемешев // Omni Scriptum Publishing Group, 2020. – 61 с.
44. Kornylo, I., O. Gnyr, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
45. Beresjuk, O., M. Lemeschew, and M. Stadnijtschuk. "Prognose des volumens von gebäudeabfällen." Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. 1.1: 13–19. (2022).
46. Lemeshev, M., O. Bereziuk, and K. Sivak. "Features of the use of industrial waste in the field of building materials." Scientific foundations in research in Engineering. 1.2: 25–32. (2022).
47. Beresjuk, O., et al. "Theoretical and scientific foundations in research in Engineering." (2022).
48. Kornylo, I., O. Gnyr, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
49. Boiko, T., et al. Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems. Vol. 3. International Science Group, 2021.
50. Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021.
51. Bereziuk, O., M. Lemeshev, and D. Cherepakha. "Forecasting the volume of construction waste." (2021).
52. Demchyna, B., et al. Scientific foundations of solving engineering tasks and problems. Vol. 2. International Science Group, 2021.
53. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
54. Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 p. (2020).
55. Bereziuk, O., M. Lemeshev, and A. Cherepakha. "Ukrainian prospects for landfill gas production at landfills." Theoretical aspects of modern engineering: 58-65. (2020).
56. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsianykova L. Stetsiuk V., etc–International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
57. Lemeshev, M., O. Khrystych, and D. Cherepakha. "Perspective direction of recycling of industrial waste in the technology of production of building materials." (2020).
58. Лемішко, К. К. Особливості використання техногенних відходів в промисловості будівельних матеріалів. Академія технічних наук України, 2019.

59. Лемешев М. С. Ніздрюваті бетони з використанням промислових відходів / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2017 : материалы международной научно-практической Интернет-конференции. – Москва : SWorld, 2017.
60. Sivak, R. Features of processing of technogenic industrial waste in the construction industry. ВНТУ, 2021.
61. Лемешев, М. С., and О. В. Березюк. "Будівельні матеріали для захисту від електромагнітного випромінювання." Вісник Сумського національного аграрного університету. № 10: 57-62. (2015).
62. Stadniychuk, M. Composite materials based on man-made waste. ВНТУ, 2021.
63. Лемешев, М. С. "Формування структури електропровідного бетону під впливом електричного струму." Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науковотехнічний збірник.–Вінниця: УНІВЕРСУМ (2006): 36-41
64. Черепаха, Д. В. Використання промислових техногенних відходів Вінниччини для виготовлення будівельних виробів. ВНТУ, 2019.
65. Лемешев М.С., Березюк О.В. Електротехнічний бетон для виготовлення анодних заземлювачів // Інтелектуальний потенціал ХХІ століття '2017: матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції, 14-21 листопада 2017 р. – Одеса: SWorld, 2017.
66. Рыбак, Р. В. "Композиционные электропроводные бетоны специального назначения." . Тюменский индустриальный университет, 2012.
67. Лемешев, М. С. "Радиоэкранирующие композиционные материалы с использованием отходов металлообработки." Череповецкий государственный университет, 2014.
68. Медведь, Я., Спеціальні жаростійкі бетони з використанням промислових відходів. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
69. Лемешев, М. С. "Антистатичні покриття із бетелу-м." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: 217-223. (2004).
70. Стаднійчук, М. Ю. Пріоритетні напрямки використання відходів. ІваноФранківськ: Симфонія форте, 2019.
71. Лемешев, М. С. "Электропроводные металлонасыщенные бетоны полифункционального назначения." Тюменский индустриальный университет, 2016.
72. Сердюк, В. Р. "Об'ємна гідрофобізація важких бетонів." (2009).
73. Лемешев, М. С. "Строительные изделия с использованием промышленных отходов." Тюменский индустриальный университет, 2017.

74. Сердюк, В. Р. "Формування структури анодних заземлювачів з бетелу-м для систем катодного захисту." Будівельні матеріали, виробни та санітарна техніка. Вип. 35: 99-104. (2010).
75. Лемешев, М. С., Сівак, К. К., Стаднійчук, М. Ю. (2021). Сучасні підходи комплексної переробки промислових техногенних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 31(2), 37-44
76. Бондаренко, В. В. "Использование композиционных материалов в технологиях переработки и иммобилизации радиоактивных отходов." Тюменский индустриальный университет, 2014
77. Лемешев, М. С. Радиозащитные металлонасыщенные бетоны. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, 2005.
78. Постолатій, М. О. Комплексне золошламове в'яжуче для виготовлення будівельних виробів. ВНТУ, 2018.
79. Ковальський В.П. Застосування червоного бокситового шламу у виробництві будівельних матеріалів // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2005. – № 1 (49). – С. 55-60.
80. Лемешев М.С., Сівак К.К., Стаднійчук М.Ю. Особливості використання промислових техногенних відходів в галузі будівельних матеріалів // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2020. № 2. С. 24-34.
81. Стаднійчук, М. Ю. "Использование промышленных отходов в строительной отрасли." International Science Group, 2021.
82. Лемешев, М. С., et al. "Перспективи використання техногенної сировини при виробництві композиційних в'яжучих." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. № 2: 36-45. (2022).
83. Сердюк, В. Р. "Комплексне в'яжуче з використанням мінеральних добавок та відходів виробництва." (2009).
84. Лемешев М.С., Березюк О.В. Антистатичні покриття із електропровідного бетону // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. 2017. № 2. С. 26-30.
85. Сердюк, В. Р., "Радіопоглинаючі покриття з бетелу-м." Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. № 12: 62-68. (2005).
86. Іванов, О. А., Композиційний жаростійкий бетон з використанням відходів виробництва. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
87. Сердюк, В. Р. "Технологические приемы повышения радиопоглощающих свойств изделий из бетэлам." Строительные материалы и изделия. № 5: 2-6. (2005).

88. Лемешев, М. С. "Розробка радіозахисних будівельних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: ВНТУ, 2006, 244-250.
89. Сердюк, В. Р. "Радіозахисні покриття варіатропної структури із бетела-м." (2008).
90. Лемешев М.С. Електропровідні бетони для захисту від статичної електрики // Перспективні досягнення сучасних вчених: матер. наук. симп., 19-20 вер. 2017 р. Одеса. 5 с.
91. Сердюк, В. Р. "Строительные материалы и изделия для защиты от электромагнитного излучения радиочастотного диапазона." Строительные материалы и изделия 4 (2005): 8-12.
92. <https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-zatverdiv-koncepciyu-vprovadzhennya-v-ukrayini-vim-tehnologij-u-budivnictvi>
93. <https://pbe.ua/vprovadzhennya-vim-tehnology-v-ukrani-60>
94. Wing Eric Autodesk Revit 2017 for Architecture/ Wing Eric, 2017. – 297с.
95. Allplan Краткий курс BIM. Теория и практика. AnkeNiedermaier, RobertBack. Мюнхен, 2016.
96. 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.
97. Навчальний посібник: Інформаційні технології в проектуванні /Бажанова А.Ю., Лазарева Д.В., Сур'янінов М.Г., Одеса, ОДАБА, 2018. — 290 с.
98. BIM Journal (2010) "How Academia has Responded: a Case Study", [Online], Available: <http://bimjournal.com/art.asp?art=39&issue=13>.
99. Denzer, A. S. and Hedges, K. E. (2008) "From CAD to BIM: Educational strategies for the coming paradigm shift", AEI 2008: Building Integrated Solutions
100. 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
101. Hietanen, J. and Drogemuller, R. (2008) "Approaches to a university level BIM education", IABSE Conference, 2008, Helsinki.
102. 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.
103. 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.

104. Weber, D. and Hedges K.E. (2008) “From CAD to BIM: The engineering student perspectives”, AEI 2008: Building integrated solutions Reston, VA: ASCE.
105. Badr, K., Mowla, D. (2014). Development of rectangular broad-crested weirs for flow characteristics and discharge measurement. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(1), 136–141.
106. Govinda Rao, N. S., Muralidhar, D. (1963). Discharge characteristics of weirs of finite-crest length. *La Houille Blanche*, 5, 537–545.
107. Guven, A., Hassan, M., Sabir, S. (2013). Experimental investigation on discharge coefficient for a combined broad crested weir-box culvert structure. *Journal of Hydrology*, 500, 97–103.
108. Hager, W. H., Schwalt, M. (1994). Broad-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(1), 13–26.
109. Jalil, S. A., Ibrahim, S. S., Jafer, R. A. (2014). Surface roughness effects on discharge coefficient of broad crested weir. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(24), 5227–5233.
110. Konstantinov, Yu. K., Hizha, O. O. (2006). *Inzhenerna hidravlika*. Kyiv, Slovo, 432 pp.
111. Kulkarni, K. H., Hinge, G. A. (2020). Experimental study for measuring discharge through compound broad crested weir. *Flow Measurement and Instrumentation*, 75, 101803.
112. Leandro J., Lopes P., Carvalho R., Páscoa P., Martins R., Romagnoli M. Numerical and experimental characterization of the 2D vertical average-velocity plane at the center-profile and qualitative air entrainment inside a gully for drainage and reverse flow. *Computers & Fluids*, 2014, 102, 52–61.
113. Lopes P., Leandro J., Carvalho R.F., Páscoa P., Martins R. Numerical and experimental investigation of a gully under surcharge conditions. *Urban Water Journal*, 2015, 12, 468–476.
114. Rekomendatsii po gidravlicheskomu raschetu vodoslivov. Ch. I. Priamye vodoslivy. Leningrad, Energia, 1974, 58 pp.
115. Rubinato M., Martins R., Kesserwani G., Leandro J., Djordjevic S., Shucksmith J. Experimental calibration and validation of sewer/surface flow exchange equations in steady and unsteady flow conditions. *Journal of Hydrology*, 2017, 552, 421–432. 2017.06.024 .
116. Salmasi, F., Poorescandar, S., Dalir, A. H., Zadeh, D. F. (2011). Discharge relations for rectangular broad-crested weirs. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 17(4), 324–336
117. Zachoval, Z., Knébllová, M., Roušar, L., Rumann, J., Šulc, J. (2014). Discharge coefficient of a rectangular sharp-edged broad-crested weir. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62(2), 145–149.

118. Zhuk, V., Matlai, I., Popadiuk, I., Vovk, L. (2020). Discharge coefficient of broad-crested weirs as function of the relative weir length and height for weirs with large length to head ratios. Theoretical and scientific foundations of engineering: collective monograph. International Science Group. Boston, Primedia eLaunch, 96–101.
119. Park, H.K., Kim, Y.S., Lee, J.H.: Development of a full-scale truss structure for space application. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology Volume 23, Issue 9-10, pp. 648-654 (2004)..
120. Zhou, X., Cui, Y., Zhao, X., Zhu, J.: A new type of full-scale deployable truss. Journal of Constructional Steel Research Volume 100, pp. 156-166 (2014).
121. Wang, Y., Zhan, J., Zhang, J., et al.: Experimental study on the buckling behavior of a full-scale space truss in compression. Thin-Walled Structures Volume 84, pp. 107-114 (2014).
122. Huang H., An H., Ma H., Chen S. An engineering method for complex structural optimization involving both size and topology design variables Internat. J. Numer. Methods Engrg., 117 (3), pp. 291-315 (2019)
123. F. Fu and G. A. R. Parke, Assessment of the Progressive Collapse Resistance of Double-Layer Grid Space Structures Using Implicit and Explicit Methods. International Journal of Steel Structures 18(3), pp. 831–842 (2018)
124. Z. X. Li. Structure mechanics analysis with different construction schemes in large-span space grid structure. Advanced Materials Research 788, pp. 534-537 (2013).
125. Lakshmikandhan K.N., Senthil R., Arul Jayachandran S., Sivakumar P. and Ravichandran R., Parametric studies on the behaviour of steel and composite space structures”, Intl. Jl. of Space Structs., Vol. 25, No.3, pp 169-183 (2010)
126. J.Y. Richard Liew, N.M. Punniyakotty, N.E. Shanmugam, Advanced analysis and design of spatial structures, Journal of Constructional Steel Research, Volume 42, Issue 1, Pages 21-48, (1997).
127. Sun G., Xiao S., Qu X., Zhuang P.: Experimental and numerical study on truss string structure considering hysteretic performance asymmetry. Journal of Building Engineering, vol. 70, Article number 106311 (2023)
128. Smith, E.A., Space Truss Nonlinear Analysis, Journal of Structural Engineering, 1984, 110 (4), 688-705.
129. See, T. and McConnel, R., Large displacement elastic buckling of space structures, Journal of Structural Engineering ASCE, 1986, 112 (5), 1052-1069.
130. Madi, U.R., An Investigation into the Design Parameters of Double Layer Space Frame Grids, Space Structures ,1987, 2, 215-222.
131. Smith, E.A. and Paul Magyar, Cold-Formed Steel Channel Struts, Journal of Structural Engineering, 1991, 117 (4), 1276– 293.



132. El-Sheikh, A. and McConnel, R.E., Experimental Study of Behavior of composite space trusses, *Journal of Structural Engineering*, 1993, 119(3), 747-766.
133. El-Sheikh A, configurations of double-layer space trusses, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol.6, No. 5,1998, 543-554.
134. Makowski, Z.S. *Estructuras Espaciales de Acero*, 2nd ed.; Editorial Gustavo Gili: Barcelona, Spain, 1972.
135. Lan, T.T. Space Frame Construction in China. *Adv. Steel Struct.* 1996, 4.
136. Aydincilar, Y. Optimum Design of Double-Layer Grid Systems: Comparison with Current Design Practice Using Real-Life Industrial Applications. Master's Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2010.
137. Space Frame Roofs Collapse Hartford Coliseum Following Heavy Snowfalls; ENR: New York, NY, USA, 1978.
138. Space Frame Roofs Collapse Hartford Coliseum Following Heavy Snowfalls; ENR: New York, NY, USA, 1978.
139. Koronaki A, Shepherd P, Evernden M.: Geometry optimization of space frame structures for joint modularity. In: Adriaenssens S, Mueller C (eds) IASS annual symposium: creativity in structural design, Boston, MA, pp. 16–20 (2018)
140. Deb K, Gulati S.: Design of truss-structures for minimum weight using genetic algorithms. *Finite Elem Anal Des* Volume 37, pp. 447–465 (2001).
141. <https://arquitecturaviva.com/works/aeropuerto-internacional-de-pekín-3#lg=1&slide=9>
142. <https://www.fosterandpartners.com/projects/beijing-capital-international-airport>
143. Чечельницький С.Г. Методологічні основи візуальної екології архітектурного середовища: Автореф. дис... д-ра архітектури: 18.00.01 / Харк. націон. ун-т буд-ва та арх-ри. – Х., 2011. – 36 с.
144. Василенко О.Б., Хусейн Рамез Мехді. Проектування освітлення у архітектурі та основні принципи ергономіки // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ. – 2004, вип. 29. – С. 17-22.
145. Фоменко О.О. Морфологічна інформативність архітектурного образу. Монографія. – Х.: Торсунг, 2002. – 312 с.: іл.
146. Хусейн Рамез Мехді, Василенко О.Б. Вплив кольору на освітленість приміщень // Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті: Зб. наук. праць в.н.з. художньо-будівельного профілю України і Росії / Під заг. ред. Н.Є. Трегуб. – Х.: ХДАДМ. – 2004, № 5,6 – 2005, №1,2,3. – С. 208 – 210.
147. V.M. Fomin. The Steady Antiplane Dynamic Contact Problem of a Periodic Structure for an Elastic Half-space // *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, Vol.60, No. 1, pp. 135-144, 1996.

148. Volodymyr Fomin. Nonlinear Dynamic Analysis of a Reinforced Concrete Frame by the Boundary Element Method. /Volodymyr Fomin, Mariam Bekirova, Mykola Surianinov, Inna Fomina // 6th International Congress on Technology-Engineering and Science. July 19-20, 2018. Abstract Book. Kuala Lumpur.-Malaysia. P. 213.
149. Фомін В.М. Використання методу граничних елементів при дослідженні статички і динаміки залізобетонних балок та рам з урахуванням нелінійної поведінки та пластичності бетону / Фомін В.М. // Вісник ОДАБА. Вып.48,ч.2 ( Одеса,2012 . ( С.179—186.
150. Фомін В.М. О використанні методу граничних елементів до рішення нелінійних пружнопластичних задач статички та динаміки залізобетонних балок та рам / В.М.Фомін, І.П. Фоміна // Вісник ОДАБА. Вып. 50, ч.2 – Одесса, 2013. – С. 168-172.
151. Бамбура А.М. Експериментальні основи прикладної деформаційної теорії залізобетону: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.01 / А.М. Бамбура. – Х., 2006. – 39 с.
152. Карпюк В.М. Особливості напружено-деформованого стану і розрахунку залізобетонних конструкцій за дії циклічного навантаження високих рівнів / В.М. Карпюк, Ю.А. Сьоміна, А.І. Костюк, О.Ф.Майстренко – Одеса: Одаба, 2018.– 237 с.
153. Chopra Anil K. Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. / Anil K. Chopra - Prentice Hall, Inc. 1995, Englewood Cliffs, New Jersey, 07632. - 794 p.
154. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic actions and Rules for Buildings. European Committee for Standardization. - Brussels, 2003. - 229 p.
155. Fomin V.M. Nonlinear Dynamic Analysis of a Reinforced Concrete Frame by the Boundary Element Method. / Volodymyr Fomin, Mariam Bekirova, Mykola Surianinov, Inna Fomina // 6th International Congress on Technology-Engineering and Science. July 19-20, 2018. Abstract Book. Kuala Lumpur.-Malaysia. P. 213.
156. JGJ 3-2010 Technical Specification for Concrete Structures of Tall Building (English). Ministry of Housing and Urban-Rural Development of PRC (MOHURD) - 2011. - P. 165.
157. Matsumori T. “Estimation of the seismic demand in R/C frame structures using push-over analysis” / T. Matsumori, Sh. Otani, H. Shionara, T. Kabeyasawa // Proceedings of 13 World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, 2004: paper № 1365.
158. Surianinov M.G. Calculation of plate-beam systems by method of boundary elements/ Mykola Surianinov, Oleksii Shylyiaiev// International Journal of Engineering & Technology, 7 (2.23),2018, P. 238-241

159. Surianinov M.G. Application of numerical and analytical method of boundary elements to calculation of reinforced concrete cross-beam systems/ Mykola Surianinov, Oleksii Shylyiaiev// Informes de la construccion, 2018.
160. Лаврик Г.И. Проблемы системных исследований архитектурной композиции // Архитектурная композиция. Современные проблемы. – М.: Стройиздат, 1970. – С. 159 – 162.
161. Лаврик Г.И. Методологические основы районной планировки. Введение в демоэкологию: Учебник для вузов / Г.И. Лаврик. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. – 118 с.: ил.
162. Оболенский Н.В. Архитектура и Солнце. – М.: Стройиздат. –1988. –207 с.
163. Чечельницкий С.Г. Методологические основы визуальной экологии архитектурной среды: Дис... доктора архитектуры: 18.00.01; – Защищена 23.12.2011. – Х., 2011. – 373 с.
164. Комплексное развитие сырьевой базы промышленности строительных материалов / Удачкин И.Б., Пащенко А.А., Черняк Л.П., Захарченко П.В., Семидидько А.С., Мясникова Е.А. – К.: Будівельник, 1988. – 104 с.
165. Пащенко А.А., Мясникова Е.А., Евсютин Е.Р. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ // Київ: Вища шк., 1990. - 223 с.
166. Allen D.T., Benmanesh N. Wastes as Raw Materials. The Greening of Industrial Ecosystems// Washington: National Academy Press, 1994. – pp.69-89.
167. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие.- Ростов н/Д: Феникс. - 2007. - 363с.
168. Тейлор Х. Химия цемента. Пер. с англ.. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
169. ДСТУ Б В.2.7-205:2009 Золи-виносу теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови
170. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини, К.: ТОВ „Ексоб”, 2003. – 472 с.
171. Ashraf Teara, Doh Shu Ing and Vivian WY Tam. The use of waste materials for concrete production in construction applications - IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.-Vol. 342, conference 1
172. Kou S, Poon C and Chan D (2007) Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete Materials in Civil Engineering, 2007. - № 19. – pp. 709-717.
173. M.Ondova, N.Stevulova, A.Estokova. The Study of the Properties of Fly Ash Based Concrete Composites with Various Chemical Admixtures. - Procedia Engineering, 2012. - Vol. 42. - pp. 1863-1872.

174. Удачкин И.Б., Черняк Л.П., Даценко Б.М. Современная химическая технология керамики и ячеистого бетона. – К.: Знание, 1981. – 20 с.
175. Рунова Р.Ф. В'яжучі речовини / Р.Ф. Рунова, Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, Ю.Л. Носовський. – Київ, «Основа», 2012. – 446 с.
176. Яковлев Ю. П. Эффективное использование капитальных вложений в сельском строительстве. – Киев: Будівельник, 1985. – 104 с.
177. Davis, R. E., R. Properties of cements and concretes containing fly ash / R. E. Davis, R. W. Carlson, J. W. Kelly, A. G. Davis. Proceedings, American Concrete Institute, 1937.- 33. - pp. 577-612.
178. Chernyak L., Sviderskyu V., Tokarchuk V., Dorogan N. To the Question of Structure Formation of Dispersed Systems in Cement Technology // World Journal of Applied Chemistry, 2020. – Vol. 5. - Is. 3. – pp. 41-46.
179. Програмне забезпечення технології портландцементу / В.А. Свідерський, Л.П.Черняк, Н.О. Дорогань, А.С.Сорока // Строительные материалы и изделия. – К. – 2014. - № 1 (84). – С. 16-17.
180. ДСТУ Б В.2.7-91-99. В'яжучі мінеральні. Класифікація. – Введ. 01.03.1999. – К.: Держбуд України, 1999. – 26 с.
181. Никифоров Ю.В. Развитие производства сухих строительных смесей // Цемент и его применение - 2000. - №5. - с.20-23.
182. Захарченко П.В., Галаган Ю.О., Гавриш О.М.. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали. Підручник. - К.: КНУБА, 2005. – 512 с.
183. Свідерський В.А., Черняк Л.П., Сангінова О.В., Дорогань Н.О., Цибенко М.Ю. Програмне забезпечення технології низькотемпературних в'яжучих матеріалів//Строительные материалы и изделия, 2017. - № 1-2 (93).- С. 22-24.
184. Кричківська Л.В., Близнюк О.М., Грицаєнко Ю.А., Дубоносів В.Л., Щербак О.В. ЗАСТОСУВАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ СТАРІННЯ ШКІРИ //Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference «MODERN STAGES OF SCIENTIFIC RESEARCH DEVELOPMENT» Prague, Czech Republic December 27 – 30, 2022. – P.344-350
185. Кричківська Л. В., Близнюк О. М., Грицаєнко Ю. А., Дубоносів В. Л., Щербак О. В. ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БАР В КАРОТИНВМІСНИХ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ЗАСОБАХ // MODERN RESEARCH IN WORLD SCIENCE Proceedings of IX International Scientific and Practical Conference Lviv, Ukraine 28-30 November 2022 Lviv, 2022 С. 373 -378

186. Кричковська Л.В.1, Куценко С.А.1, Близнюк О.М.1, Грицаєнко Ю.А., Щербак Е.В. ВИЗНАЧЕННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН В КАРОТИНВМІСНИХ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗРАЗКАХ / INNOVATIONS IN MODERN MEDICINE AND BIOLOGY Колективна монографія. Бостон 2022 - Р.208-219.
187. Кричковская Л. В. Оптимизация синтеза натурального провитамина биомассой микрогриба / Вестник фармации. — 2007. — № 2 (36). — С. 45—48.
188. Кричковская Л. В. Регуляция накопления биомассы микроорганизмами / // Биотехнология. Образование. Наука. Практика : сб. тез. III всеукр. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 18-20 окт. 2006 г. — Х., 2006. — С. 59.
189. Borowitzka M. A. 11-Carotenoid Production Using Microorganisms // Single Cell Oils (Second Edition). Microbial and Algal Oils. 2010. P. 225–240.
190. Кудрицкая С.Е Каротиноиды *Urtica dioosa* /Химия природных соединений. 1986,- №5.- С 640-641
191. Анацький А. С., Кунщикова Є. О. Вплив ступеня аерації культуральної рідини на біосинтетичну активність грибної культури *blakeslea trispora* // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2009. Вип. 17. Т. 2. С. 15–19.
192. Roukas T. Modified rotary biofilm reactor: A new tool for enhanced carotene productivity by *Blakeslea trispora* // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 174. P. 1114–1121.
193. Белінська А. П., Кричковська Л. В. Розробка технологічних режимів рафінації олійних розчинів β-каротину // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2010. Вип. 38 (2). С. 157–160.
194. He Z., Wang Sh., Yang Yu., Hu J., Wang C., Li H., Ma B. β-Carotene production promoted by ethylene in *Blakeslea trispora* and the mechanism involved in metabolic responses // Process Biochemistry. 2017. Vol. 57. P. 57–63.
195. Гагарина Л. В., Евтеева Н. М., Смурова Л. Л., Бобнева С. М. Влияние масляной основы на стабильность растворенного микробиологического каротина // Химико-фармацевтический журнал. 1996. Т. 30, № 6. С.51–56.
196. Кудинова С. П. Разработка технологии получения и фармако-токсикологические исследования бета-каротина: Автореф. дис... докт. биол. наук. Краснодар. 2003. 45 с.
197. Кричковская Л.В. Создание биологически-активных продуктов на основе стабилизированного каротина биотехнологического происхождения: Автореф. дис... докт. биол. наук, Киев. 2003. 36 с.
198. Choudhari Sh., Singhal R. Media optimization for the production of β-carotene by *Blakeslea trispora*: A statistical approach // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99, Is. 4, P. 722–730.

199. Jing K., He Sh., Chen T., Lu Y. Enhancing beta-carotene biosynthesis and gene transcriptional regulation in *Blakeslea trispora* with sodium acetate // *Biochemical Engineering Journal*. 2016. Vol. 114. P. 10–17.
200. Чернова Л.А., Горбань В.Г., Антоненко С.П., Гудвиллович И.Н., Боровков А.Б. Получение масляного экстракта каротиноидов из микроводоросли *Dunaliella salina* // *Бюлетень ДНБС*. 2013. Вип. 108. С. 63–69.
201. Nwoba E. G., Rohani T. Monochromatic light filters to enhance biomass and carotenoid productivities of *Dunaliella salina* in raceway ponds // *Bioresource Technology*. 2021. Vol. 340. 125689.
202. Pourkarimi S., Hallajisani A., Alizadehdakhel A., Nouralishahi A., Golzary A. Factors affecting production of beta-carotene from *Dunaliella salina* microalgae // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020. Vol. 29. 101771.
203. Великая, Т.В. Определение качественного состава крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) методом ТСХ / Т.В. Великая, К.К. Кожанова, С.К. Жетерова, О. Дрегерт // *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2016. - №1 (43). - С. 78-80.
204. Губин, К.В. Анализ аминокислотного и элементного состава надземной части и сухого экстракта *Urtica cannabina* L. / К.В. Губин, М.А. Ханина // *Медицина и образование в Сибири*. - 2011. - №5. С.6.
205. Кирьякова, В.О. Изучение содержания витамина К1 в надземной части растений рода *Urtica* / В.О. Кирьякова, Е.П. Куперман // *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2011. - № 3-1 (35). - С. 6263.
206. Копытько, Я.Ф. Применение, химический состав и стандартизация сырья и препаратов *Urtica* / Я.Ф. Копытько, Е.С. Лапинская, Т.А. Соколовская // *Химико - фармацевтический журнал*. - 2011. - Т. 45 - №10. - С. 33-41.
207. Ожигова М.Г. Количественное определение суммарного содержания флавоноидов в листьях *Urtica dioica* (*Urticaceae*) спектрофотометрическим методом // *Растительные ресурсы*. - 2006. - Т. 42. - № 2. - С. 126-130.
208. Пецуха, В.С. Изучение элементного состава крапивы коноплевой / В.С. Пецуха, Е.П. Чебыкин, Г.М. Федосеева // *Сибирский медицинский журнал*. - Иркутск. - 2008. - Т. 81. - № 6. - С. 88-90.
209. Погоцкая, А.А. Методы фармакогностического анализа в идентификации лекарственного растительного сырья крапивы двудомной и возможных примесей к нему / *Вестник развития науки и образования*. -2013. - № 4. - С. 40-49.
210. Скалозубова, Т.А. Изучение фенольных соединений листьев крапивы двудомной / *Прикладная аналитическая химия*. 2011.- т.2. - № 3 (5). - С. 20-23.

211. Скалозубова, Т.А. Количественное определение кальция и магния в листьях и настоях крапивы двудомной // Сб. науч. трудов «Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции». - Вып. 66. - Пятигорск, 2011.- С. 178-179.
212. Сорокина, А.А. Определение кальция и магния в листьях и настое крапивы двудомной / Фармация. -2013. - № 2. - С. 5-8.
213. Тринеева, О.В. Определение гидроксикоричных кислот, каротиноидов и хлорофилла в листьях крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) /Химия растительного сырья. - 2015. - № 3. - С. 105-110.
214. Юдина, Н.В. Влияние параметров диспергирования крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) на изменения степени измельчения, выходов и свойств экстрактивных веществ / Химия растительного сырья. - 2012. - № 1. - С. 137-142.
215. Arms, William Y. (2000): Digital libraries, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
216. Волонтир Л. О. Чисельні методи: Навч. посіб. - / Л. О. Волонтир, Л .В. Зелінська, Н. А. Потапова, І. А. Чіков - Вінницький національний аграрний університет. – Вінниця: ВНАУ, 2020 – 322 с.
217. Porteous, M., Kirakowsky, J. &Corbett, M. (1993): SUMI user handbook, Human Factors Research Group, University College Cork.
218. Пушкар О. І. Інформатика: Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології. Посіб. за ред. О. І. Пушкаря – К.: Видавничий центр «Академія», 2018.
219. Сидоренко В. М. Комп'ютерна техніка та програмування : Підручник / В. М. Сидоренко.: КДЕУ, 2015.
220. Ponomarenko V.S., Holubnychyi D.Iu., Tretiak V.F. Tsilochyselne prohranuvannia v ekonomitsi. – Kharkiv: Vyd. KhNU, 2005. – 204 s. Ponomarenko V.S., Holubnychyi D.Iu., Tretiak V.F. Tsilochyselne prohranuvannia v ekonomitsi. – Kharkiv: Vyd. KhNU, 2005. – 204 s.
221. Голубничий Д.Ю. Адитивний алгоритм рішення задачі розміщення засобів захисту інформації в розподіленій системі / Д.Ю. Голубничий, В.Ф. Третяк, А.М. Булай, А.В. Ірха, О.В. Бабіч, Р.М. Олійник, О.В. Єрмоленко // Challenges in Science of Nowadays: VIII міжн. наук.-практ. конф., 04-06 квітня 2021 р. – Вашингтон, 2021. – С. 1058-1067
222. Голубничий, Д., Третяк, В., Костенко, І., Поляцко, В., Апполонов, О., Крук, Б., & Закіров, З. (2021). Експериментальне дослідження алгоритмів рішення задач дискретної оптимізації на основі рангового підходу та принципу оптимізації за напрямком. *InterConf*, (58), 324-337

223. Голубничий Д.Ю. Інформаційна технологія відсікання неперспективних варіантів в алгоритмах рішення задачі цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними на основі рангового підходу // *Theoretical foundations in research in Engineering: collective monograph* / Д.Ю. Голубничий, О.В. Коломійцев, В.Ф. Третяк [та ін.]; International Science Group. – Boston, 2022. – С. 96-133
224. Коломійцев, О., Голубничий, Д., Коц, Г., Третяк, В., Євстрат, Д., & Лисиця, А. (2020). Задачі дискретної оптимізації та їх постановка для розміщення засобів захисту в розподіленій системі. *Збірник наукових праць ЛОГОС*, 36-41
225. Коломійцев, О., Старцев, В., Третяк, В., Нікорчук, А., Шаповалов, О., Закіров, З., Полтавський, Е., Черненко, П., Крамар, О., & Рибальченко, А. (2022). Метод рішення задачі оптимізації маршрутів для спеціалізованих машин логістичного забезпечення в автоматизованій інформаційній системі складського обліку на основі рангового підходу. *Scientific Collection «InterConf+»*, 27(133), 417–434
226. Третяк, В., Голубничий, Д., Коломійцев, О., Мегельбей, Г., Возний, О., & Філіпенков, О. (2020). Математична модель рангового підходу. *Збірник наукових праць ЛОГОС*, 116-122
227. Третяк, В., Осієвський, С., Усачова, О., Ірха, А., Булай, А., Бабіч, О., & Шамрай, Н. (2021). Архітектури паралельних обчислювальних структур для рішення задач дискретної оптимізації. *InterConf*, (52), 462-479
228. Третяк, В., Коломійцев, О., Євстрат, Д., Ворошилов, С., Чмир, В., Логвиненко, Є., Лисиця, А., & Місюра, В. (2021). Аналіз сучасних систем управління базами даних. *InterConf*, (78), 453-465
229. Третяк В.Ф., Пашнева А.А. Оптимізація структури сховища даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – 2017. – №. 4 (44). – С. 122-128.
230. Третяк В.Ф., Кужель І.Є, Приходько В.М., Використання технології реплікації у системі управління розподіленими базами даних // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – 2010. – № 2(24). – С. 109-114.
231. Третяк В.Ф., Місюра О.М., Більчук В.М. Метод оптимізації структури розподіленої бази даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2017. – № 1. – С. 92-96.
232. S. Kalantaievska, H. Pievtsov, O. Kuvshynov, A. Shyshatskyi, S. Yarosh, S. Gatsenko, H. Zubrytskyi, R. Zhyvotovskyyi, S. Petruk and V. Zuiko. Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 5, No. 9 (95) (2018): pp 60–76. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144085>.



233. N. Kuchuk, A. S. Mohammed, A. Shyshatskyi, O. Nalapko. The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization”, *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 2019. Vol. 8. No. 1, pp. 1–6, DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/0181.22019>.
234. J. Zhang, W. Ding. Prediction of Air Pollutants Concentration Based on an Extreme Learning Machine: The Case of Hong Kong. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 14. No. 2. pp. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph14020114>.
235. L. Katranzhy, O. Podskrebko, V. Krasko. Modelling the dynamics of the adequacy of bank’s regulatory capital. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2018; Vol. 4. No. 1. pp. 188-194. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2018-4-1-188-194>
236. E. Manea, D. Di. Carloa, D. Depellegrin, T. Agardy, E. Gissi. Multidimensional assessment of supporting ecosystem services for marine spatial planning of the Adriatic Sea. *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 101. pp. 821–837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.017>.
237. A. B. Çavdar, N. Ferhatosmanoğlu. Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information. *Journal of Air Transport Management*. 2018. Vol. 67. pp. 19–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.007>.
238. G.I. Kachayeva, A.G. Mustafayev The use of neural networks for the automatic analysis of electrocardiograms in diagnosis of cardiovascular diseases. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2018. Vol. 45. No. 2. pp. 114-124. DOI: <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2018-45-2-114-124>.
239. V. V. Zhdanov. Experimental method to predict avalanches based on neural networks. *Lёд i Sneg*. 2016. Vol. 56. No. 4. pp. 502–510. DOI: <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-4-502-510>.
240. A. Kanev, A. Nasteka, C. Bessonova, D. Nevmerzhitsky, A. Silaev, A. Efremov, K. Nikiforova. Anomaly Detection in Wireless Sensor Network of the “Smart Home” System. *Proceeding of the 20th conference of fruct association*. 2017. Vol. 776. No.20. pp. 118–124. DOI: <https://doi.org/10.23919/FRUCT.2017.8071301>.
241. M. Sreeshakthy, J. Preethi. Classification of human emotion from deep EEG signal using hybrid improved neural networks with Cuckoo search. *Brain: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*. 2016. Vol. 6. No. 3–4. pp. 60–73.
242. J. F. Chica, S. Zaputt, J. Encalada, C. Salamea, M. Montalvo. Objective assessment of skin repigmentation using a multilayer perceptron. *Journal of Medical Signals and Sensors*. 2019. Vol. 9. No. 2. pp. 88–99 DOI: [https://doi.org/10.4103/jmss.JMSS\\_52\\_18](https://doi.org/10.4103/jmss.JMSS_52_18).

243. L.V. Massel, O. M. Gerget, A. G. Massel, T. G. Mamedov. The use of machine learning in situational management in relation to the tasks of the power industry. EPJ Web of Conferences. 2019. Vol. 217. pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201921701010>.
244. K. Abaci, V. Yamacli. Hybrid artificial neural network by using differential search algorithm for solving power flow problem. Advances in Electrical and Computer Engineering. 2019. Vol. 19. No 4. pp. 57–64. DOI: <https://doi.org/10.4316/AECE.2019.04007>.
245. O. S. Mishchuk, P. B. Vitynskyi. Neural network with combined approximation of the surface of the response. Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". 2018. No. 2. pp. 18–24. DOI: <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2018.2.129022>.
246. M. Kazemi, M. Faezirad. Efficiency estimation using nonlinear influences of time lags in DEA Using Artificial Neural Networks. Industrial Management Journal. 2018. Vol. 10. No. 1. pp. 17–34. DOI: [10.22059/imj.2018.129192.1006898](https://doi.org/10.22059/imj.2018.129192.1006898).
247. G. Parapuram, M. Mokhtari, J. B. Hmida. An artificially intelligent technique to generate synthetic geomechanical well logs for the Bakken formation. Energies. 2018. Vol. 11 (3). No. 680. pp. 1-26. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11030680>.
248. N. G. Prokoptsev, A. E. Alekseenko, Y. A. Kholodov. Traffic flow speed prediction on transportation graph with convolutional neural networks. Computer Research and Modeling. 2018. Vol. 10. Iss. 3. pp. 359–367. DOI: <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2018-10-3-359-367>.
249. Ye. Bodyanskiy, I. Pliss, O. Vynokurova. Flexible neo-fuzzy neuron and neuro-fuzzy network for monitoring time series properties. Information Technology and Management Science. 2013. No. 16. pp. 47–52.
250. Ye. Bodyanskiy, I. Pliss, O. Vynokurova. Flexible wavelet-neuro-fuzzy neuron in dynamic data mining tasks. Oil and Gas Power Engineering. 2013. Vol. 2. No.20. pp. 158–162.
251. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, Inc., 1999. 842 p
252. Nelles O. Nonlinear System Identification. Berlin: Springer. 2001. 785 p.
253. L.-X. Wang, J. M. Mendel. Fuzzy basis functions, universal approximation and orthogonal least squares learning. IEEE Trans. on Neural Networks. 1993. Vol. 3. pp. 807-814.
254. T. Kohonen Self-Organizing Maps. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 362 p.
255. N. Kasabov. Evolving Connectionist Systems. London: Springer. Verlag, 2003. 307 p.

256. M. Sugeno, G. T. Kang. Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy Sets and Systems*. 1998. No. 28. pp. 15–33.
257. L. Ljung. *System Identification: Theory for the User*. Upper Saddle River: Prentice Hall, Inc., 1987. 432 p.
258. P. Otto A new learning algorithm for a forecasting neuro-fuzzy Network. *Integrated Computer-Aided Engineering*. 2003. Vol. 10. No. 4. pp 399–409.
259. K. S. Narendra, K. Parthasarathy. Identification and control of dynamical systems using neural networks. *IEEE Trans. on Neural Networks*. 1990. No. 1. pp. 4-26.
260. S.N. Petruk, R.M. Zhyvotovskiy, A.V. Shyshatskiy. Mathematical Model of MIMO. 5th International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PICS&T-2018). 9-12 October 2018. Kharkiv, Ukraine. P. 7 – 12. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632163.
261. R.M. Zhyvotovskiy, A.V. Shyshatskiy, S.N. Petruk. Structural-semantic model of communication channel. 4th International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PICS&T-2017). 10-13 October 2017. Kharkiv, Ukraine. P. 524 – 529. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246454.
262. I. Alieinykov, K. A. Thamer, Y. Zhuravskiy, O. Sova, N. Smirnova, R. Zhyvotovskiy, S.Hatsenko, S. Petruk, R. Pikul, A. Shyshatskiy. Development of a method of fuzzy evaluation of information and analytical support of strategic management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6. No. 2 (102). 2019. pp. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184394>.
263. A. Koshlan, O. Salnikova, M. Chekhovska, R. Zhyvotovskiy, Y. Prokopenko, T. Hurskiy, A. Yefymenko, Y. Kalashnikov, S. Petruk, A. Shyshatskiy. Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5. No. 9 (101). 2019. pp. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>.
264. Горелова, В. Л. Основы прогнозирования систем : учеб. пособие для инж.-экон. спец. вузов [Текст] / В. Л. Горелова, Е. Н. Мельникова. – М. : Высш.шк., 1986. – 287 с.
265. Надежность и эффективность в технике [Текст] : справочник / Ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. В 10 т. Т. 1. Методология. Организация. Терминология / Под ред. А. И. Рембезы. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.
266. Надежность и эффективность в технике [Текст] : справочник / Ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. В 10 т. Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.

267. Петухов, Г. Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем [Текст] / Г. Б. Петухов, В. И. Якунин. – М. : АСТ, 2006. – 504 с.
268. Соломонов, Ю. С. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность [Текст] / Ю. С. Соломонов, Ф. К. Шахтарин. – М. : Машиностроение, 2003. – 368 с.
269. Теоретичні основи формування та деградації складних організаційно-технічних систем : монографія / Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко, І.В. Рубан, В.Г. Малюга, А.В. Тристан. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 162 с.
270. Coelli, T. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis [Text] / T. Coelli, D. S. Prasada Rao, G. E. Battese. – Boston : Kluwer Academic Publishers, 1998. – 275 p.
271. Cooper, W. W. Data Envelopment Analysis [Text] : A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software / W. W. Cooper, L. M. Seiford, K. Tone. – Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000. – 318 p.
272. Tretiak, V., Filgus, D., Stetsenko, O., & Buchyk, S. (2019). Parallel Computation Method for Fragmentation of Distributed Database Data Based on Rank-Based Approach 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 – Proceedings, pp. 92-95.
273. Listrovoy, S., Tretiak, V. , & Listrovaya, A. (1999). Parallel algorithms of calculation process optimization for the Boolean programming problems/ Engineering Simulation, 16(5), pp. 569-579.
274. Третьяк, В., Коломійцев, О., Євстрат, Д., Ворошилов, С., Чмир, В., Логвиненко, Є., Лисиця, А., & Місюра, В. (2021). Аналіз сучасних систем управління базами даних. InterConf, (78), 453-465.
275. Третьяк, В. (2004). Технология репликации в распределенных системах управления базами данных. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. (1), 7-10.
276. Коломійцев, О., Осієвський, С., Третьяк, В., Крук, Б., Борисенко, М., Старцев, В., Добришкін, Ю., Приходько, С., Рибальченко, А. & Любченко О. (2023). Інформаційна технологія реплікації розподілених баз даних. Scientific Collection «InterConf», (148), 494-501.
277. Третьяк В. Ф., Кужель І. Є, Приходько В. М., Використання технології реплікації у системі управління розподіленими базами даних // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2010. – № 2(24). – С. 109-114.

278. Голубничий , Д., Коломійцев , О., Третяк , В., Калачова , В., Закіров , З., Полтавський , Е., Кудряшов , В., Рибальченко , А., & Любченко , О. (2023). Інформаційна технологія використання гарантованих прогнозів під час рішення задач комбінаторної оптимізації. *Grail of Science*, (24), 302-312.
279. Голубничий Д. Ю. Інформаційна технологія відсікання неперспективних варіантів в алгоритмах рішення задачі цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними на основі рангового підходу // *Theoretical foundations in research in Engineering: collective monograph* / Д. Ю. Голубничий, О. В. Коломійцев, В. Ф. Третяк [та ін.]; International Science Group. – Boston, 2022. – С. 96-133.
280. Третяк В.Ф., Місюра О.М., Більчук В.М. Метод оптимізації структури розподіленої бази даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2017. – № 1. – С. 92-96.
281. Рувінська В.М., Девятков В.В. Відеоспостереження для систем безпеки: моделі, методи та запропоновані рішення. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2021. Том 11. № 4. С. 331-342.
282. Симбірський Г.Д. Аналіз методів виявлення аномалій у відеоряді камер відеоспостереження на транспорті. /*Вісник ХНАДУ*. –Х., ХНАДУ. –2022. –№ 98.
283. Роботизована камера SpeedDome Hikvision DS-2DF8C448I5XS-AELW(T5) DarkFighter з лазерною підсвіткою. URL: [https://vario.com.ua/ptz-robotizovannaya-kamera-speeddome-hikvision-ds-2df8c448i5xs-aelwt5-darkfighter-s-lazernoj-podsvetkoy/?gclid=Cj0KCQjw4omaBhDqARIsADXULuUk4Pc554R11Rizwk\\_Fe8MZ6JRxC8HQB-AII-2Jn7yc-Jp0fShCu6QaAlqCEALw\\_wcB](https://vario.com.ua/ptz-robotizovannaya-kamera-speeddome-hikvision-ds-2df8c448i5xs-aelwt5-darkfighter-s-lazernoj-podsvetkoy/?gclid=Cj0KCQjw4omaBhDqARIsADXULuUk4Pc554R11Rizwk_Fe8MZ6JRxC8HQB-AII-2Jn7yc-Jp0fShCu6QaAlqCEALw_wcB) (дата звернення: 01.11.2022).
284. Особливості камер відеоспостереження. URL: <https://worldvision.com.ua/ru/kak-vybrat-naruzhnuu-kameru-rabotaushchuu-ot-batarei/> (дата звернення: 01.11.2022).
285. Pedregosa F. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *JMLR*. 2011. No.12. P. 2825-2830. URL: <https://www.jmlr.org/papers/volume12/pedregosa11a/pedregosa11a.pdf> (дата звернення: 01.11.2022).
286. Omar S., Ngadi A., Jebur H.H. Machine Learning Techniques for Anomaly Detection: An Overview. *International Journal of Computer Applications*. 2013. V.79. No.2. URL: <https://research.ijcaonline.org/volume79/number2/pxc3891478.pdf> (дата звернення: 01.11.2022).
287. Larose D. T. *Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining*. NY, Wiley, 2014. 336 p.
288. Vapnik V.N. *Statistical Learning Theory*. NY, John Wiley & Sons, 1998. 312 p.

289. Liu F., Ting K., Zhou Z. Isolation Forest. ICDM'08. Eighth IEEE International Conference on Data Mining. 2008. P. 413-422.
290. Van den Burg, Gerrit J. J., Williams, C. An Evaluation of Change Point Detection Algorithms. Cornell University Arxiv. 2020. No.06222. URL: <https://arxiv.org/pdf/2003.06222.pdf> (дата звернення: 01.11.2022).
291. Babcock B., Babu S., Datar M., Motwani R., Widom J. Models and issues in data stream systems. Proceedings of the 21st ACM Sigmod-Sigact-Sigart Symposium on Principles of Database Systems. 2002. P. 1–16. URL: [https://www.researchgate.net/publication/221559970\\_Models\\_and\\_Isues\\_in\\_Data\\_Stream\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/221559970_Models_and_Isues_in_Data_Stream_Systems) (дата звернення: 01.11.2022).
292. UNESCO. Digital learning and transformation of education. Retrieved from <https://www.unesco.org/en/digital-education>
293. Global Online Education Market - Forecasts From 2020 To 2025 <https://www.researchandmarkets.com/reports/4986759/global-online-education-market-forecasts-from>
294. MarketsandMarkets. Gamification Market by Component, Deployment, Organization Size, Application, and Region - Global Forecast to 2025. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/gamification-market-991.html>
295. Technavio. E-learning Market Growth, Size, Trends, Analysis Report by Type, Application, Region and Segment Forecast 2022-2026. <https://www.technavio.com/report/e-learning-market-industry-analysis>
296. European Commission. Digital Education Action Plan. [https://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/digital-education-action-plan\\_en](https://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/digital-education-action-plan_en)
297. UNESCO Institute for Statistics. More than half of world's students lack access to remote learning – new data from UNESCO. Retrieved from <https://en.unesco.org/news/more-half-world-s-students-lack-access-remote-learning-new-data-unesco>
298. World Bank. Facing Forward: Schooling for Learning in Africa. <https://www.worldbank.org/en/region/afr/publication/facing-forward-schooling-for-learning-in-africa>
299. OECD (2015). Students, Computers and Learning: Making the Connection. <https://www.oecd.org/publications/students-computers-and-learning-9789264239555-en.htm>
300. UNESCO Institute for Statistics (2021). Education: From disruption to recovery. <https://www.unesco.org/en/covid-19/education-response>
301. Richard van Hooijdonk. Game on! The power of gamification in education. <https://blog.richardvanhooijdonk.com/en/game-on-the-power-of-gamification-in-education/>

302. World Bank (2018). World Development Report 2018: Learning to Realize Education's Promise. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/28340>
303. Walden University. Top 5 Benefits of Technology in the Classroom <https://www.waldenu.edu/programs/education/resource/top-five-benefits-of-technology-in-the-classroom>
304. United Nations. Sustainable Development Goals. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/education/>
305. World Economic Forum (2021). The Future of Jobs Report 2020. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020>
306. UNICEF. Launches First of Its Kind, Interactive Map Visualizing the Digital Divide in Education. <https://www.unicef.org/innovation/stories/launches-first-its-kind-interactive-map-visualizing-digital-divide-education>
307. UNESCO (2021). Education in the Post-2015 Development Agenda. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000223025>
308. OECD. Artificial Intelligence in Education. <https://www.oecd.org/education/trustworthy-artificial-intelligence-ai-in-education-a6c90fa9-en.htm>
309. Van Zante, D. E., Collier, F., Orton, A., Khalid, S. A., Wojno, J. P., & Wood, T. H. (2014). Progress in open rotor propulsors: The FAA/GE/NASA open rotor test campaign. *The Aeronautical Journal*, 118(1208), 1181-1213.
310. Parry, A. B., & Vianello, S. (2012). A project study of open rotor noise. *International Journal of Aeroacoustics*, 11(2), 247-258.
311. Zhong, T., Yang, C., & Åbom, M. (2023). Tonal noise reduction of an electric ducted fan using over-the-rotor acoustic treatment. *Applied Acoustics*, 205, 109298.
312. De Laborderie, J., & Moreau, S. (2016). Prediction of tonal ducted fan noise. *Journal of Sound and Vibration*, 372, 105-132.
313. Tereschenko, Y. Y., Tereschenko, Y. M., & Lastivka, I. O. (2019). Аеродинамічний опір авіаційної силової установки з турбовентиляторною приставкою. *Вісник двигунобудування*, (2).
314. Терещенко, Ю. М., Дорошенко, К. В., Ластівка, І. О., & Терещенко, Ю. Ю. (2017). Методика оцінки статичної міцності двохярусної лопатки робочого колеса турбовентиляторної приставки. *Наукоємні технології*, 35(3), 233-241.
315. Терещенко, Ю. М., Дорошенко, К. В., & Терещенко, Ю. Ю. (2017). Перспективи створення авіаційних двигунів нових схем. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*, (13), 109-114.
316. Терещенко, Ю.М., Кулик М.С., Мітрахович М.М. та ін. (2015). Теорія теплових двигунів. Газодинамічний розрахунок елементів газотурбінних двигунів. К.: НАУ, 292с.

317. 500 zapytan' i vidpovidey z ahrokhimiyi : navch.-dovid. posib. M. Y. Shevchuk, V. I. Lopushnyak, M. M. Vyslobods'ka, B. I. Parkhuts', I. M. Parkhuts', P. M. Sloboda ; za red. d. s.-h. n., profesora V. I. Lopushnyaka. – L'viv : LNAU, 2016. – 476 s.
318. Ahrogruntoznavstvo : navch. posib. V. I. Lopushnyak, V. B. Danylyuk, O. V. Has'kevych, N. I. Lahush. L'viv : L'vivs'kyy natsional'nyy ahrarynyy universytet, 2016. 212 s.
319. Ahrokhimiya : Dobryva ta yikh vplyv na bioproduktyvnist' gruntu : pidruchnyk. M. Y. Shevchuk, S. I. Veremeyenko, V. I. Lopushnyak ; za red. d. s.-h. n. prof. M. Y. Shevchuka. – Luts'k : Nadstyr"ya, 2012. – 2.– 439 s.
320. Ahrokhimiya : Teoretychni osnovy formuvannya vrozhayu : pidruchnyk. M. Y. Shevchuk, S. I. Veremeyenko V. I. Lopushnyak ; za red. d. s.-h. n. prof. M. Y. Shevchuka. – Luts'k : Nadstyr"ya, 2012. – 1.– 195 s.
321. Blyum YA. B., Heletukha H. H. , Dubrovin V. O. Novitni tekhnolohiyi bioenerhokonversiyi. K., 2010. – 324 s.
322. Vyznachennya hrupovoho ta fraktsiynoho skladu humusu gruntu za metodom I. V. Tyurina u modyfikatsiyi V. V. Ponomar'ovoyi ta T. A. Plotnykovoyi, spalyuvannya za B. A. Nikitinym (variant NNTS IHA) : MVV 31-497058-008-2002 // Metodyky vyznachennya skladu ta vlastyvostey gruntiv. – Kharkiv : Drukarnya № 13, 2004. – Kn. 1. – S. 129 – 154.
323. Hospodarenko H. M. Systema zastosuvannya dobryv : navch. posib. K. : SIK-HRUP Ukrayina, 2015. – 332 s.
324. Hrytsulyak H., Ekolohichnyy stan dernovo-pidzolystykh gruntiv Peredkarpattya za vnesennya osadu stichnykh vod pid verbu enerhetychnu Zbalansovane pryrodokorystuvannya. Ekolohichna bezpeka. - № 1/2019. – S. 66-73
325. Ekolohichni novatsiyi Spil'noyi ahrarynoyi polityky YES: implementatsiya v Ukrayini : naukovo-analitychna zapyska / vid 10.08.2016 r. № 135-13/440/ Instytut ekonomiky ta prohnozuvannya NANU. – K., 2016. – 37 s.
326. Ekolohichno bezpechnyy sposib vyroshchuvannya verby enerhetychnoyi / [V. V. Snityns'kyy, V. I. Lopushnyak, B. A. Kostyuk, H. M. Hrytsulyak]. Vcheni L'vivs'koho natsional'noho ahrarynoho universytetu vyrobnytstvu : kataloh innovatsiynykh rozrobok. – L'viv, 2013. – Vyp. 13. – S. 4.
327. Enerhetychna verba: tekhnolohiya vyroshchuvannya ta vykorystannya: monohrafiya. Royik M. V., Sinchenko V. M., Fuchylo YA. D. ta in. Vinnytsya : Nilan-LTD, 2015. – 340 s.
328. Kachan KH. P., Verbovs'kyy O. V. Pidhotovka osadiv stichnykh vod do znevodnennya z podal'shoyu yikh utylizatsiyeyu. Problemy ta perspektyvy rozvytku zabezpechennya bezpeky zhyttyediyal'nosti : zb. nauk. pr. mizhnar. nauk.-prakt. konf. kursantiv i stud., L'viv, 2010 r. / L'viv. derzh. un-t bezpeky zhyttyediyal'nosti. – L., 2010. – S. 75 – 76.



329. Kotsar O. M. Tekhnolohiyi i obladnannya dlya pererobky i utylizatsiyi opadiv promyslovykh i komunal'nykh stichnykh vod [elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: <http://unilos.com.ua>
330. Kunts'o I. O., Humentyk YA. M. Vyroshchuvannya enerhetychnoyi verby yak syrovyny dlya vyrobnytstva tverdykh vydiv biopalyva v umovakh Lisostepu Ukrayiny. Zbirnyk naukovykh prats' instytutu bioenerhetychnykh kul'tur i tsukrovykh buryakiv. – K., 2013. – Vyp. 19. – S. 59 – 62.
331. Lopushnyak V. I. Ahrokhimichni ta ahroekolohichni aspekty system udobrennya v Zakhidnomu Lisostepu Ukrayiny : monohrafiya. L'viv : Liha–Pres, 2015. – 218 s.
332. Lopushnyak V. I., Hrytsulyak H. Zmina enerhoyemnosti humusu dernovo-pidzolistoho gruntu pid vplyvom vnesennya osadu stichnykh vod. Visnyk Zhytomyrs'koho NAEU : ahronomiya. – 2014. – Vyp. 2 (42). T. 1. – S. 81 – 86.
333. Lopushnyak V. I., Hrytsulyak H. Matematychna model' formuvannya produktyvnosti ahrotsenozu verby enerhetychnoyi. Motrol. – Lublin –Rzeszow, 2014. – Vol. 6. – № 4. – R. 77–81.
334. Lopushnyak V. I., Hrytsulyak H. Perspektyvy vykorystannya osadu stichnykh vod u vyroshchuvanni verby enerhetychnoyi. Visnyk L'vivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu : ahronomiya. – 2011. – Vyp. 15 (2). – S. 139 – 142.
335. Lopushnyak V. I., Hrytsulyak H. Produktyvnist' verby enerhetychnoyi za riznykh norm vnesennya osadu stichnykh vod na dernovo-pidzolistykh gruntakh Prykarpattya. Enerhobiotekhnolohiyi – 3 : materialy VII-yi Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. – L'viv, 2013. – S. 111–115.
336. Lopushnyak V. I., Hrytsulyak H. Utylizatsiya osadu stichnykh vod komunal'nykh pidpryyemstv z otrymannyam orhanichnoho dobryva pid enerhetychni kul'tury. Zbirnyk naukovykh prats' Vinnyts'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu : sil's'kohospodars'ki nauky. – 2014. – Vyp. 5 (82). – S. 188 – 198.
337. Lopushnyak V., Hrytsulyak H., Yakubovsky T., Barchak B Sav'yuk R Formuvannya produktyvnosti verby enerhetychnoyi za povtornoho vnesennya osadu stichnykh vod na derevo-pidzolistomu gruntu Visnyk ahrarnoyi nauky Prychornomor'ya. –Vyp. 2. - 2020. – c. 63-70
338. Lopushnyak V. I., Hrytsulyak H Fraktsiyno-hrupovyy sklad dernovo-pidzolistoho gruntu pid vplyvom vnesennya dobryv na osnovi osadu stichnykh vod [elektronnyy resurs]. Aktual'ni problemy gruntoznavstva, zemlerobstva ta ahrokhimiyi : materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf., prysvyach. 95-richchyu utv. kaf. gruntoznavstva, zemlerobstva ta ahrokhimiyi LNAU ta Mizhnarodnomu Dnyu ahrokhimika, (9-13 chervnya 2014 r.) – L'viv, 2014. – S. 347-353. – Rezhym dostupu: <http://lnau.lviv.ua/lnau/index.php/uk/konf.html>
339. Myslyva T. M. Kadmiy u gruntakh pryrodnykh ahrolandshaftiv Zhytomyrs'koho Polissya / T. M. Myslyva. Ahrokhimiyi i gruntoznavstvo. – Kharkiv. – 2014. – Kn. 3. – S. 110 – 111.

340. Perspektyvy vykorystannya bioenerhetychnykh kul'tur v Ukrayini / [V. P. Landin, V. V. Moroz, V. A. Zakharchuk, O. M. Rudenko]. Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny. – 2016. – Vyp. 26.5. – S. 80 – 86.
341. Perspektyvy vyroshchuvannya ta vykorystannya enerhetychnykh kul'tur v Ukrayini : analitychna zapyska BAU za № 10 vid 12 veresnya 2014 r. [Elektronnyy resurs] / [H. H. Heletukha, T. A. Zhelyezna, O. V. Tryboy]. – Rezhym dostupu: <http://uabio.org/activity/uabio-analytics>
342. Pol'ovyy V. M. Vidnovlennya rodyuchosti ahrokhimichno dehradatsiynykh gruntiv. Visnyk ahraryoi nauky. – 2011. – № 2. – S. 14-17
343. Royik M., Kurylo V., Humentyk M. Efektyvnist' vyroshchuvannya vysokoproduktyvnykh enerhetychnykh kul'tur. Visnyk L'vivs'koho natsional'noho ahraryoiho universytetu. – 2011. – № 15(2). – S. 268 – 273.
344. Salo T. L., Dyshlyuk V. YE., Chornokozyns'kyy A. V.. Ahroekolohichni ta tekhnolohichni aspekty zastosuvannya v sil's'komu hospodarstvi osadiv stichnykh vod mis'kykh ochysnykh sporud / T. L. Salo, Ahroekolohichnyy zhurnal. – 2001. – № 2. – S. 38 – 43.
345. Systemy udobrennya sil's'kohospodars'kykh kul'tur u zemlerobstvi pochatku KHKHI stolittya : monohrafiya / [kolektyv avtoriv] ; za red. akademika NAAN Ukrayiny, doktora sil's'kohospodars'kykh nauk, profesora S. A. Balyuka i doktora sil's'kohospodars'kykh nauk, profesora M. M. Miroshnychenka. – K. : Al'fa-steviya, 2016. – 400 s.
346. Skrylnyk E. V. Transformation of the humic state of soils and their energy intensity under the influence of different fertilization systems. Bulletin of the Center for APV of the Kharkiv region. – 2010. – Issue 7. – P. 184 – 194.
347. Skrylnyk E.V., Hetmanenko V.A. Transformation of organic matter of podzolized chernozem under conditions of fertilization with city sewage sludge. KHNAU bulletin: soil science. – 2014. – No. 2. – P. 5 – 10.
348. Sorokina KB, Kozlovska SB. manual Kharkiv: KhNAMG, 2012. – 226 p.
349. Method of ecologically safe disposal of sewage sludge in plantations of energy crops. [IN. V. Snitynskyi, V. I. Lopushnyak, B. A. Kostyuk, H. M. Hrytsuliak]. Scientists of the Lviv National Agrarian University of Production: a catalog of innovative developments. – Lviv, 2012. – Issue 12. – P. 4.
350. Statystychna informatsiya Derzhkomstatu. rozdil «Publikatsiyi» [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
351. Stvorennya ta vyroshchuvannya enerhetychnykh plantatsiy verb i topol' / Fuchylo YA. D., Sbytina M. V., Fuchylo O. YA., Litvin V. M. – K. : Lohos, 2009. – S. 242-245.
352. Stichni vody. Vymohy do stichnykh vod i yikhnykh osadiv dlya zroshuvannya ta udobryuvannya : DSTU 7369:2013. – [Chynnyy vid 2014-01-01]. – K. : Minekonomrozvytku Ukrayiny, 2014. – 7 s. – (Natsional'nyy standart Ukrayiny).

353. Tytko R., Kalinichenko V. Vidnovlyuvani dzherela enerhiyi (dosvid Pol'shchi i Ukrainy) : posibnyk. Varshava : OWG, 2010. – 533 s.
354. Fuchylo YA. D., Humentyk V. M, Sinchenko M. YA., Osoblyvosti vyroshchuvannya enerhetychoyi verby. Bioenerhetyka, 2016. № 1(7). – S. 11 – 13.
355. Czekala J., Czekala W. Sklad chemiczny kompostów wytworzonych na basie komunalnych osadów ściekowych, słomy i trocin. Inżynieria Środowiska, 2012. – 26: 78 – 80.
356. Ignatowicz K., Garlicka K., Breńko Wpływ kompostowania osadów ściekowych na zawartość wybranych metali i ich frakcji. Inżynieria Ekologiczna, 2011. – 25: 231 – 241.
357. Lipski R. Wykorzystanie biomasy jako energii odnawialnej w Polsce na przykładzie ciepłowni opalanej słomą w gminie Wieniawa. Motrol. – Lublin. – T. 13. – 2011. – C. 164 – 172
358. Lopushniak V., Hrytsuliak H., Jakubowski T., Polutrenko M., Karavanovych K., Kachala T. Indices of Soil and Plant Cover Pollution Due to Re-Introduction of Sediment Water Under the Energy Willow on Aluvisol of Ukraine /Ecological Engineering and Environmental Technology, 2023, 24(3), pp. 201–211
359. Lopushniak V., Hrytsuliak H., Lopushniak G Statistical Analysis of the experimental data on the content of heavymetals in sod-podzolic soils, depending on the introduction of sewage sludge under energy willow International Journal of Advance and Innovative Research V 8, issueI (IV) January – March, 2021 S. 346-352
360. Lopushniak V., Hrytsuliak H., Polutrenko M., Lopushniak H., Voloshyn Yu., Kotsyubynska Yu., Baran B. Model of Biomass Productivity under the Influence of Change in the Phytotoxicity of Podzol Soil Due to Reintroduction of Sewage Sludge under Energy Willow. Journal of Ecological Engineering, 2022, 23(12), pp. 217–226
361. Lopushniak V., Hrytsuliak H. Environmental soil conditions for entering sewage sludge under energy crops Environmental soil conditions for entering sewage sludge under energy crops Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference. International Trends in Science and Technology. –Vol. 1. – Warsa Poland. – February 28. - 2020. – P. 57-60
362. Lopushniak V., Hrytsuliak H. Інтенсивність засвоєння важких металів рослинами верби енергетичної на нафто забруднених територіях Monografia roconferencyjna. Science, research, development. - № 26. – м. Познань (Польща), 27-28 лютого 2020 р. – с.29-34
363. Ociepa-Kubicka A. Wykorzystanie osadów ściekowych i kompostu w nawożeniu roślin energetycznych na przykładzie miskanta i ślázowca. Annual Set The Environment Protection, 2013. – 15: 2267 – 2278.

364. Rajmund A., Bożym M., Rajmund A. Ocena zawartości metali ciężkich w wiejskich osadach ściekowych i kompostach w aspekcie ich przyrodniczego wykorzystania. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. – 2013. – T. 13. – Z. 4(44): 103 – 113.
365. Rode H. The energy of cutting process of a selected energy plant. *Teka*. – Lublin. – V. 11. – 2011. – P. 326 – 334.
366. Sobczyk W. Evaluation of harvest of energetic basket willow / Wiktoria Sobczyk // *Teka*. – Lublin. – V. 11. – 2011. – C. 343 – 353.
367. Wilk J. Franciszek Wolańczyk. Właściwości energetyczne produktów ubocznych oczyszczalni ściekow. *Politzka Energetyczna – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia – tom 11 (2008)*. – zeszyt 2. – s. 139 - 149.
368. Załącznik nr. 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu. *Dziennik Ustaw*, 2013, Poz. 38.
369. Peshuk, L.V., Bavika L.I., & Demydov, I.M. (2019). *Tekhnolohiia parfumeri i kosmetychnykh produktiv [Technology of perfumery and cosmetic products]*. Kyiv: Center for Educational Literature. 376 p. (in Ukrainian)
370. Singh, R., Singh, A.G. (2015). Evaluation of irritant Properties of Different Toilet Bar Soaps. *Indian J. Dermatol. Venerol.* Vol. 41. No. 3. 99-102.
371. Commodity research. Non-food products: textbook (2019). Merezhko, N. V., Mokrousova, O. R., Koptiyukh, L. A. et al. Kyiv: Kyiv National Trade and Economic University. Vol. 1. 760 p. (in Ukrainian)
372. Zakharenko, V. A., Sorokina, S. V., & Akmen, V. A. (2013). Estimation of complex index of quality of toilet soap with oily extractions of digester. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 10(66), 28–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.19185>
373. Afinogenov, G. E., Afinogenova, A. G. (2014). Suchasni pidkhody do hihiieny ruk medychnoho personalu [Modern approaches to hand hygiene of medical personnel]. *Clinical microbiology*, Vol. 6. No. 1. 65-91. (in Ukrainian)
374. Grodzinsky, A. M. (Ed.) (1992). *Likarski roslyny: entsyklopedychnyi dovidnyk [Medicinal plants: an encyclopedic reference book]*. Kyiv: Ukrainian Encyclopedia: Olympus. 544 p. (in Ukrainian)
375. Tovstukha, E.S. (1990). *Fitoterapiia [Phytotherapy]*. Kyiv: Zdorovye. 304 p. (in Ukrainian)
376. Petryshcheva, V.O., Kyslychenko, V.S., Zhuravel, I.O., & Neshcheret, O.I. (2006). Doslidzhennia mineralnogo skladu kropyvy dvodomnoi [Study of the mineral composition of nettle dioecious]. *Phytotherapy. Chasopis.* No. 3. 46-48. (in Ukrainian)

377. Pavliuk, R.Y., Yanitsky, V.V., Kryachko, T.V., Maksimenko, G.I., Sokolova, L.M., & Maksimova, N.F. (2008). *Novie tekhnologii antotsianovikh dobavok (Novoe v tekhnologii konservirovaniya)* [New technologies of anthocyanin additives (New in canning technology)]. Kharkiv-Kyiv: State University of Food Technology and Trade; Department of Food. Industry of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. 261 p. (in Ukrainian)
378. Kovalev, V. M. Pavliy, O. I., & Isakova, T. I. (2000). *Farmakohnoziia z osnovamy biokhimii roslyn* [Pharmacognosy with the basics of plant biochemistry]. Kharkiv: NUPh Publishing House "Prapor". 703 p. (in Ukrainian)
379. Voronina, L. N. Desenko, V. F., & Madievska, N. N. (2000). *Biolohichna khimiia* [Biological chemistry]. Kharkiv: Osnova. 277-282. (in Ukrainian)
380. Zosimovych N., Artificial Intelligence Techniques Application in UAS, Transactions on Eng. and Comp. Sc., Vol. 11, No. 1, Feb. 25, 2023, PP. 45-61. Available online: <https://journals.scholarpublishing.org/index.php/TMLAI/article/view/14012> .
381. Liang, Z., et al., The detection and quantification of retinopathy using digital angiograms. Medical Imaging, IEEE Transactions on, 1994. 13(4): p. 619-626. Gonzalez, L.F., Montes, G.A., Puig, R., Johnson, S., Mengersen L., Gaston, K.J., Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Artificial Intelligence Revolutionizing Wildlife Monitoring and Concervation, MDPI. Sensors, Vol. 16, Issue 1, Basel, Switzerland, 2016. Available online: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/1/97> .
382. Dufrene, W.R. Application of Artificial Intelligence Techniques in Uninhabited Aerial Vehicle Flight. Proc. Digital Avionics Systems Conference, 2003. DASC '03. The 22nd Vol. 2. Available online: [https://www.researchgate.net/publication/4043886\\_Application\\_of\\_artificial\\_intelligence\\_techniques\\_in\\_uninhabited\\_aerial\\_vehicle\\_flight](https://www.researchgate.net/publication/4043886_Application_of_artificial_intelligence_techniques_in_uninhabited_aerial_vehicle_flight) .
383. Liu, X., J. Liu, J. Eker, Lee, E.A., Heterogeneous Modeling and Design of Control Systems, to appear in Software-Enabled Control: Information Technology for Dynamical Systems, 2002, New York City: IEEE Press.
384. Cannady, J., DCIS 760 Artificial Intelligence: (Class Lecture Viewgraphs), 2002, Nova Southeastern University, Graduate School of Information Sciences. Available online: <http://scis.nova.edu/kannad> .
385. Handelman D., Stengel R., Perspectives on the Use of Rule-Based Control, Artificial Intelligence in Real-Time Control, 1989. Pergamon Press, New York, p. 27-32.
386. Control Using an Artificial Neural Network. Proceedings. Australian Conference on Robotics and Automation, 2000. (ACRA 2000), Aug. 30 – Sept. 1, Melbourne.
387. Elmore, W., Control of Intelligent Unmanned Vehicles in Dynamic Environments, 2000. Available online: <http://www.asinc.codpdfs/unmannedVehiclesMay2002.pdf> .

TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES IN MODERN REALITIES:  
PROBLEMS, PROSPECTS AND SOLUTIONS

388. Sehgal, B., Deters, R. W., Selig, M.S., Icing Encounter Flight Simulator. AIAA 2002-0817, Reno, NV, 2002, Jan.
389. Oren, C., Verity, A., Artificial Intelligence (AI) Applied to Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and its Impact on Humanitarian Action, 2020, Digital Humanitarian Network.
390. Kranz M., Inside the “hive-mind”:how AI-powered drone “swarms” can benefit society. Information Age. February 15, 2019. Available online: <https://www.information-age.com/ai-powered-drone-swarms-123479202/#> .
391. Feist J., Intel flies hundreds of drones during Super Bowl Halftime with Lady Gaga, Drone Rush. February 6, 2017. Available online: <http://dronerush.com/intel-shooting-star-drones-super-bowl-halftime-lady-gaga-5984/> .
392. Fuzzy Logic Controller: A new control technique for drones, EMBERTION, October 8, 2021.
393. Sabo C., Cohen K., Fuzzy logic UAV (Unmanned Aerial Vehicles) motion planning. Advances in Fuzzy Systems, Jan., 2012. Available online: [https://www.researchgate.net/publication/258331480\\_Fuzzy\\_Logic\\_UAV\\_Unmanned\\_Aerial\\_Vehicle\\_Motion\\_Planning](https://www.researchgate.net/publication/258331480_Fuzzy_Logic_UAV_Unmanned_Aerial_Vehicle_Motion_Planning) .
394. Zosimovych N., Unified Embedded Fusion Sensors for Aircrafts, Int. Journ. of Advanced Eng. and Management Research, Vol. 7, Issue 3, June 2022, PP. 87-101. Available online: [https://ijaemr.com/uploads/pdf/archivepdf/2022/IJAEMR\\_519.pdf](https://ijaemr.com/uploads/pdf/archivepdf/2022/IJAEMR_519.pdf) .
395. Ljung L., System identification: Theory for the user, 1987, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
396. Grewal M., Andrews A., Kalman Filtering: Theory and Practice using MATLAB, 2015, New Jersey: Wiley.
397. Chaturvedi D., Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink, 2010, CRC Press.
398. Julier S.J., Uhlmann J.K., Unscented filtering and non-linear estimation, 2004, Proc IEEE 92 (3): 401–22.
399. Kashyap S.K., Raol J.R., Evaluation of derivative free Kalman filter for non-linear state-parameter estimation and fusion, 2008, Journ. Aeronaut. Soc. India 60(2): 101–14.
400. Danov, K., et al. Influence of A Bio-Consortium Starter Culture on the Biochemical and Micro Structural Characteristics of Traditional Dry Cured Meat Product. Bulgarian Journal of Agricultural Science (Bulgaria), 2014, 115-124.
401. Xiong, Youling l.; Mikel, William Benjy. Meat and meat products. Meat science and applications, 2001, 351-369.
402. G. Vignolo, P. Castellano, and S. Fadda, “Bioprotective Cultures,” in Handbook of Fermented Meat and Poultry, F. Toldrá, Ed., pp. 129–138, John Wiley & Sons, Ltd., 2015. View at: Google Scholar

403. A. Galvez, R. Lucas López, H. Abriouel, E. Valdivia, and N. B. Omar, “Application of bacteriocins in the control of foodborne pathogenic and spoilage bacteria,” *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 28, no. 2, pp. 125–152, 2008. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
404. ZHONG, Aiai, et al. The potential correlation between microbial communities and flavors in traditional fermented sour meat. *LWT*, 2021, 149: 111873.
405. M. S. Ammor and B. Mayo, “Selection criteria for lactic acid bacteria to be used as functional starter cultures in dry sausage production: an update,” *Meat Science*, vol. 76, no. 1, pp. 138–146, 2007. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
406. P. S. Cocconcelli and C. Fontana, “Characteristics and Applications of Microbial Starters in Meat Fermentations,” in *Meat Biotechnology*, F. Toldrá, Ed., pp. 129–148, 2008. View at: [Google Scholar](#)
407. S. Fonseca, A. Cachaldora, M. Gómez, I. Franco, and J. Carballo, “Effect of different autochthonous starter cultures on the volatile compounds profile and sensory properties of Galician chorizo, a traditional Spanish dry fermented sausage,” *Food Control*, vol. 33, no. 1, pp. 6–14, 2013. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
408. E. B. Bingol, F. Yilmaz, H. Yardibi et al., “Effect of lipolytic starter cultures on ripening and quality of Turkish type fermented sausages (sucuk),” *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 22, p. S97, 2011. View at: [Google Scholar](#)
409. R. Casquete, M. J. Benito, A. Martín, S. Ruiz-Moyano, A. Hernández, and M. G. Córdoba, “Effect of autochthonous starter cultures in the production of " salchichón", a traditional Iberian dry-fermented sausage, with different ripening processes,” *LWT-Food Science and Technology*, vol. 44, no. 7, pp. 1562–1571, 2011. View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
410. Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління. Монографія. – К.: Наукова думка, 2008. - 542 с.
411. Мурасов Р.К., Куртсеітов Т.Л., Мельник Я.В. Обчислення надійності системи критичної інфраструктури шляхом декомпозиції її як складної системи. НУОУ, м. Київ, *Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”*, Vol. 12, No.5, 2022.
412. Мурасов Р.К., Куртсеітов Т.Л., Мельник Я.В. Імовірнісний метод прогнозування надзвичайних подій на потенційно-небезпечних об’єктах критичної інфраструктури. НУОУ, м. Київ, науковий журнал “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”, № 2(44), 2022 р., С.60-64-122.

413. Мурасов Р.К., Чумаченко С.М., Пиріков О.В., Гуйда О.Г., Ківа І.Л. Особливості побудови математичної моделі оцінювання загроз для об'єктів критичної інфраструктури з використанням теорії графів, Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/18>, Том 32 (71) № 6 2021.
414. Мурасов Р.К., Чумаченко С.М., Мельник Я.В., Теоретико-методологічні основи інформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в умовах збройного конфлікту на сході України, НУОУ, м. Київ, науковий журнал “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”, № 1(40), 2021 р., С.117-122
415. Звіт про прямі збитки інфраструктури, непрямі втрати економіки від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України, та попередня оцінка потреб України у фінансуванні відновлення. Державна аудиторська служба України. [https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/07/NRC\\_CLEAN\\_Final\\_Jul1\\_Losses-and-Needs-Report.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/07/NRC_CLEAN_Final_Jul1_Losses-and-Needs-Report.pdf)
416. Мурасов Р.К., Мельник Я.В., Порівняння існуючих методик оцінювання загроз і ризиків для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в зоні ведення бойових дій, НУОУ, м. Київ, науковий журнал “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”, № 3(45), 2022 р., DOI:10.33099/2311-7249/2022-45-3-32-36
417. Иванец В.Н., Бакин И.А., Ратников С.А. Процессы и аппараты пищевых производств: Учебное пособие. / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2004. – 180 с.
418. Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ: Тематический сборник статей / под общей ред. А.А. Долинского; Институт технической теплофизики НАН Украины. – К.: Академперіодика, 2015. – 464 с.
419. Накорчевский А.И., Басок Б.И., Рыжкова Т.С. Гидродинамика роторно-пульсационных аппаратов. Инженерно-физический журнал, 2002. – Т. 75, № 2. – С. 58-68.
420. Rodgers T. High-Shear Mixing: Applications in the Food Industry [Електронний ресурс] / T. Rodgers, L. Trinh // Elsevier BV. – 2016. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03095-X>.
421. Басок Б.И. Интенсификация технологии производства сгущенного молока с сахаром посредством роторно-пульсационных аппаратов / Б.И. Басок, А.Н. Ободович, М.П. Мартыненко, А.Р. Коба, О.А. Горячев // Пром. теплотехника. – 2005. – 27, № 1. – С. 38-41.
422. Ободович А.Н. Интенсификация производства глюкозо-фруктозных сиропов за счет механохимической деструкции / А.Н. Ободович, М.А. Хибна, Л.А. Боряк, А.А. Ободович, А.И. Тесля // Пром. теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 3. – С. 44-49.



423. Басок Б.И. Дисперсный анализ соевой пасты, полученной при роторно-пульсационной гомогенизации / Б.И. Басок, И.А. Пироженко, Д.В. Булавка // Пром. теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 88-92.
424. Грищенко А.В., Терлецкая Я.Т., Шаркова Н.А., Жукотский Э.К. Разработка высокобелковых композиций на соевой основе для лечебно-профилактического питания // Пром. теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 115-116.
425. Шаркова Н.О. Особливості технології виробництва соєвих продуктів / Н.О. Шаркова, Е.К. Жукотський, Г.В. Грищенко // Пром. теплотехніка. – 2004. – Т. 26, № 6. – С. 93-96.
426. Долинский А.А., Басок Б.И. Роторно-импульсный аппарат. 2. Локальный импульсный нагрев жидкости // Промышленная теплотехника. – 1999. – Т. 21, № 1. – С. 3-5.
427. Мальцев П.М. Технология бродильных производств. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 596 с.
428. Ліпєц А.А. Технологія крохмалю та крохмалепродуктів: навч. посібник. – К.: НУХТ, 2003. – 168 с.
429. Ободович А.Н. Особенности переработки влажного зерна в роторно-пульсационном аппарате (РПА) / А.Н. Ободович, А.Ю. Лымарь // Энергетика та автоматика, 1999. – № 3. – С. 119-123.
430. Ободович А.Н. Совершенствование технологии приготовления суслу из крахмалосодержащего сырья в спиртовом производстве с применением дискретно-импульсного ввода энергии / А.Н. Ободович, Т.Л. Грабова, А.Р. Коба, О.А. Горячев // Пром. теплотехника, 2007. – Т. 29, № 4. – С. 59-63.
431. Ободович А.Н. Совершенствование технологии приготовления комбикормов для сельскохозяйственных животных с применением метода дискретно-импульсного ввода энергии (ДИВЭ) / А.Н. Ободович, А.Ю. Лымарь, В.В. Сидоренко, И.Н. Миронец, А.С. Бачинский // Науковий вісник НУБІП 174, 2012. – С. 148-153.
432. Ободович А.Н. Использование дискретно-импульсного метода ввода энергии (ДИВЭ) для интенсификации приготовления жидких кормов для сельскохозяйственных животных на основе барды / Ободович А.Н., Сидоренко В.В., Лымарь А.Ю., Миронец И.Н. // Вібрації в техніці та технологіях, 2013. – № 2 (70). – С. 190- 195.
433. Denisyuk, O.V. (2021). Performance assessment of the ducted propfan of the turbofan engine with ultra-high bypass ratio. Aerospace Technic and Technology, (4sup1), 41-46.doi:10.32620/aktt.2021.4sup1.06.
434. Zhang, T., & Barakos, G. N. (2020). Review on ducted fans for compound rotorcraft. The Aeronautical Journal, 124(1277), 941-974. <https://doi.org/10.1017/aer.2019.164>

435. Ferlauto, M., Iollo, A., & Zannetti, L. (2001). Fan and propeller design via inverse problem adjoint equations. In ISABE conference (Vol. 1160, p. 2001).
436. Weintraub, D., Koppelberg, J., Köhler, J., & Jeschke, P. (2022). Ducted fans for hybrid electric propulsion of small aircraft. *CEAS Aeronautical Journal*, 13(2), 471-485. <https://doi.org/10.1007/s13272-022-00573-7>
437. Kiock, R., & Hegen, G. H. (1996). Experiences with Ultra-High-Bypass Simulators From Calibration and Isolated Engine Testing. *DLR-Mitt.* 96-01.
438. Grieb, H., & Eckardt, D. (1986). Propfan and Turbofan, Antagonism or Synthesis. In *JCAS-86*.
439. Usenko, V., Balalaieva, K., & Mitrakhovych, M. (2022). Evaluation of the thrust of a ducted coaxial propfan. *Aerospace Technica and Technology*, (4), 52-56. doi: 10.32620/aktt.2022.4.06
440. Терещенко, Ю. М., Дмитрієв, С. О., Панін, В. В., & Волянська, Л. Г. (2001). Теорія теплових двигунів. К.: Вища шк.
441. Gibbs H G., 1975: *Stress, Vibrations and Noise Analysis in Vehicles*. – Elsevier Science Ltd, N.-Y. – ISBN-13 978-0853346425.
442. Дербаремдикер А.Д., 1985: *Амортизаторы транспортных машин*, М.: Машиностроение. – 199 с.
443. Reimpell J., 1989: *Fahrwerktechnik: Radaufhängungen*. – Vogel-Buchverlag, Würzburg. – ISBN-13: 978-3-8343-3031-4.
444. Гутиря С, Дерев'янченко О., 2002: Застосування кваліметричних моделей для синтезу і діагностики трибомеханічних систем // Трибофатика: Праці симпозіуму ISTF, 2002: 200-204.
445. Гутиря, С., Сифоров, А., 2003: Моделирование расхода запирающей жидкости гидропневмоцилиндров // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. Даля, 2003, 12(70): 204-208.
446. Gutyrya S. et al., 2004: Serviceability function of the contacting seal for hydropneumatic cylinder // MOTROL, Lublin, 2004: 97-100.
447. Gutyrya S., Zablonky K., Yaglinskiy V., 2005: System modeling of gears design quality // International Conference on Gears. Munich, 2005, Vol. 1904. 1: 417-434.
448. Яглинский В., Гутиря С., Сифоров А., 2006: Моделирование колебательных процессов в гидропневматических амортизаторах при ударных воздействиях // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006, вип. 2(12): 95–98.
449. Yaglinsky V., Gutyrya, S., 2010: Mechanisms of parallel structure in modern machine-building manufacture // *Les Problemes Contemporains du Technosphere et de la Formation des Cadres D'Ingenieurs*, de IV Conf. Intern. Scientifique et Methodique, Hammamet: Tunisie. – 2010: 37-40. – ISSN 2079-2530.

450. Яглінський, В., Гутиря С., 2011: Надійність авіаційного тренажера на основі гексапода при екстремальних навантаженнях // Вісник СевНТУ: зб. наук. праць. Серія Механіка, енергетика, екологія. – 2011, вип. 120: 196-205.
451. PROGRESSIVE UNITS AND ASSEMBLIES IN ENGINEERING MACHINES: Collective monograph / S Varinov, A Bukov, V Vanin, S Gutyrya et al, 2012: M.: Spectr. – 272 p.: ISBN 978-5-4442-0019-3.
452. Гутиря, С., Яглінський В., Обайді А., 2012: Підвищення технічного рівня механізмів паралельної структури і кінематики у складі технологічних комплексів // Технологічні комплекси. – 2012, вип. 2, 2 (5, 6): 50-56.
453. Konieczny Łukasz et al., 2013: Determination of the damping characteristics of hydro pneumatic suspension strut // Journal of Measurement in Engineering. – 2013; 1(3): 155-158.
454. Yaglinskiy V., Gutyrya S., Chanchin A., 2016: Parametrical fluctuations of epicycle in wheel gearboxes // British Journal of Applied Science & Technology, 2016, vol. 13 (2): 1-8.
455. Barethiye VM et al, 2017: Analysis of a quarter car suspension system based on nonlinear shock absorber damping models // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. – 2017; 14(3): 4401-4418.
456. Hutyria, S., Chanchin, A., Yaglinskyi V. et al. 2020: Evolution of trolley-bus: directions, indicators, trends // DIAGNOSTYKA, 2020, Vol 1(21): 11-26.
457. SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF SOLVING ENGINEERING TASKS AND PROBLEMS: Collective monograph / B Demchyna, L Vozniuk, V Yahlinskyi, S Hutyria, et al., 2021: Boston. – 758 p.: DOI-DOI: 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.II.
458. SCIENTIFIC FOUNDATIONS IN RESEARCH IN ENGINEERING: Collective monograph / I Kornylo, O Gnyp, V Yahlinskyi, S Hutyria, et al, 2022: Boston. – 709 p.: ISBN: 979-8-88526-742-7. DOI: DOI: 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.2.
459. Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S. «Theory of Plates and Shells». Second Edition. New York etc.: McGraw-Hill Book Company INC, 1959. - 636 p.
460. Луговий П.З. Динаміка конструктивно-неоднорідних оболонкових структур: монографія /П.З. Луговий, В.Ф. Мейш, Ю.А. Мейш/ – К.:Ліра-К, 2022.–336 с.
461. Сегерлинд Л. «Применение метода конечных элементов». М.: Мир, 1979.- 392 с.
462. Рычков С. П. «Моделирование конструкций в среде Femap with Nastran». / С. П. Рычков //– М. ДМК Пресс, 2016. – 784 с.

463. Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E. Impact of elasticity of polymer filler of three-layer cylindrical structure of elliptical section on its behavior under internal impulse loading *Strength of Materials and Theory of Structures*. – 2022. – Issue. 109. – P. – 263-272.
464. 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.
465. Kotenko K. E. Вплив армування полімерного заповнювача на динаміку тришарових оболонкових структур *Theoretical foundations in research in Engineering: collective monograph / V. Babyak, V.Gladilin, K. E. Kotenko– etc.* – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2022. –562 p. Available at : <https://doi –DOI: 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4>
466. Гриффен А.Л., Макортецкий Н.Н., Макаров В.М., Перов Н.А. Методические основы определения перспективности шахт Украины // *Геотехнічна механіка: Межведом. сб. науч. тр.* – Днепропетровск, 2003. – Вып. 44. – С. 60–64.
467. Макаров В.М., Перов М.О., Макортецкий М.М., Новицкий І.Ю., Методика ранжування шахт України за перспективністю // *Проблеми загальної енергетики*, 2010, вип. 2(22) – С. 26–30.
468. Высоцкий Е.Н. Как закрывают шахты на Западе / Е.Н. Высоцкий // *Шахтер Украины*. – 1999. – № 24-25. – С. 9.
469. Петрунин О.Л. Опыт работы угледобывающих предприятий Германии / О.Л. Петрунин // *Уголь*. – 1997. – № 1. – С. 61-65. 19. Ликвидация французской государственной угольной компании. *Зарубежная панорама // Уголь*. – 2008. – № 10. – С. 69.
470. Ликвидация французской государственной угольной компании. *Зарубежная панорама // Уголь*. – 2008. – № 10. – С. 69.
471. Прогноз развития угольной промышленности США до 2030 г. *Зарубежная панорама // Уголь*. – 2008. – № 10. – С. 69-72.
472. Competition, regulations теap coal industry must restructure «*Mining Engineering*», Vol. 47, М 5, 1995, pp. 405-411.
473. Annual Review 1994. Coal 0verview, Coal, ВО. Hong, «*Mining Engineering*», Vol. 47, № 5, 1995, pp. 423-426.
474. Попов В.Н. Социально-экономические аспекты реструктуризации угольной промышленности Польши / В.Н. Попов, А.А. Рожков // *Уголь*. – 2000. – № 4. – С. 44-48.
475. Анализ развития добычи энергетического угля в основных странах мира в период за 2000–2014 гг. и тенденции перспективного развития. URL: <https://www.eriras.ru/files/plakitkina.pdf> (дата звернення: 05.03.2023).

476. Угольная промышленность Индии. URL: [https://www.cdu.ru/tek\\_russia/articles/5/950/](https://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/950/) (дата звернення: 05.03.2023).
477. Pham D. Стратегія розвитку вугільної промисловості та можливості застосування механізованої технології видобутку вугілля в Куангінському вугільному басейні В'єтнаму / D. Pham., G.Vitkalov. URL: <https://www.researchgate.net/publication/326901860> (дата звернення: 07.03.2023).
478. Програма «Українське вугілля» // Уголь України. – 2001. – № 10. – С. 5-38.
479. «Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников многоканатных подъемных установок», утвержденных Минуглепромом СССР 09.08.89 и Госгортехнадзором СССР 22.02.82 и «Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников одноканатных подъемных установок» утвержденных Минуглепромом СССР 09.08.89 и Госгортехнадзором СССР 22.02.82, Макеевка - Донбасс: МакНИИ, 1982.
480. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт, – НИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1985 г.
481. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. - [Дійсні від 22.03.2010]. – Офіційне видання. – Київ: Основа, 2010. – 430с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
482. Волошин А.И. Армировки вертикальных стволов и методы их совершенствования / Волошин А.И., Рубель А.А., Рубель А.В. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.–Днепропет-ровск, 2016.–Вып.126.– С. 137-145.
483. Волошин А.И. Консольно-демпфирующие расстрелы армировки вертикальных шахтных стволов / Волошин А.И., Рубель А.А., Рубель А.В. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.–Днепропет-ровск, 2016.–Вып.127.– С. 89-98.
484. Рубель А.А. Исследование существующих конструкций ярусов армировки вертикальных стволов и разработка схем ярусов с канатно-профильными проводниками / Рубель А.А. // Геотехнічна механіка: Міжвідомчий збірник наукових праць. – Днепр, 2017, - Вып. 134 – С. 211-227.
485. Рубель А.А. Исследование и разработка оптимальных конструкций армировок стовбура с канатно-профильными проводниками / Рубель А.А., Рубель А.В. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.– Днепр, 2018.– Вып.139.– С. 31-48.

486. Рубель А.А. Исследование и совершенствование конструкций боковых направляющих устройств подъемных сосудов / Рубель А.А. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.– Днепр, 2018.–Вып.141.– С. 18-26.
487. Рубель А.А. Исследование и разработка конструкций крепления канатно-профильных проводников к расстрелам армировки стовбура / Рубель А.А., Бойко Б.И., Рубель В.А., Кураева А.В. // Гірничя електро механіка та автоматика. Транспорт та гірничя механіка: Науково техн. сб.трудов / Національний ТУ «Дніпровська політехніка».– Днепр, 2019.–Вып. 102.– С. 68-78.
488. Патент 115478 Україна, (51) МПК E21D 7/00. Канатно-профільний провідник армування шахтного стовбура / А.О. Рубель (Україна) // Бюл. – 2017 – 21.
489. Патент 110518 Україна, (51) МПК (2016.01) E21D 7/00. Дискретне армування стовбура. / А.О. Рубель (Україна) // Бюл. – 2016. – №19.
490. Патент 110492 Україна, (51) МПК (2016.01), E21D 7/00. Консольно-демпфіруючий розстріл: / Рубель А.О. // Бюл. – 2016. – №19.
491. Li, Z., Liu, W., Gu, Z., Li, C. and Hong, Y., The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. Food Hydrocolloids, 48, pp. 189-196, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.030>
492. Sneh Punia Bangar, Adeleke Omodunbi Ashogbon, Arashdeep Singh, Vandana Chaudhary, William Scott Whiteside. Enzymatic modification of starch: A green approach for starch applications. Carbohydrate Polymers 2022, 287, 119265. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119265>
493. Blazek, J., Gilbert, E.P. (2010). Effect of Enzymatic Hydrolysis on native starch granule structure. Biomacromolecules, 11, 12, 3275–3289. doi: <https://doi.org/10.1021/bm101124t>
494. Ishtiaq Ahmad, Zhouyi Xiong, Xiong Hanguo, Fei Lyu, Rana Muhammad Aadil, Nauman Khalid, Noman Walayat, Muhammad Imran Taj, Gaopeng Zhang, Wei Tang, Yan Li, Minghui Li. Microstructural study of enzymatically and non-enzymatically hydrolyzed potato powder. Journal of Food Processing and Preservation 2022, 46 (11) <https://doi.org/10.1111/jfpp.16998>
495. Abdellatif Mohamed, Husham Alqah, Mohammed Alamri, Shahzad Hussain, Akram Qasem, Mohamed Ibraheem, Hany Yehia, Ghalia Shamlan. Physicochemical Properties of Enzymatically Modified Starches. Processes 2021, 9(12), 2251. <https://doi.org/10.3390/pr9122251>