



REVIEW OF THE LATEST OPINIONS AND THEORIES REGARDING THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL AND AGRICULTURAL

Collective monograph

ISBN 979-8-89074-563-7

DOI 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4

BOSTON(USA)-2023

ISBN – 979-8-89074-563-7

DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4

*Review of the latest opinions and
theories regarding the
development of technical and
agricultural sciences*

Collective monograph

Boston 2023

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – 979-8-89074-563-7

DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4

Authors – Horbatiuk K., Babyak V., Zaulychna I., Babyak V., Василенко О., Намчук О., Мінченков Р., Эль Ешеіх Ель Алауі Дуаа, Чвирова О., Синьковська О., Bukliv R., Komarenska Z., Oliynyk L., Сіара S., Шишацький А.В., Жук О.В., Гурський Т.Г., Маций О.Б., Шапошнікова О.П., Kipenskyi A., Shamardina V., Korol Y., Babkova N., Levchuk R., Mylyanych A., Fedorova O., Бреус Д.С., Євтушенко О.Т., Lys S., Yurasova O., Galyanchuk I., Redko Y., Haranina O., Vardanian A., Переяславцева О., Shchukin O., Makarov V., Kaplin M., Makarova S., Румар Т., Чугрій Г., Вінюков О., Бондарева О., Вискуб Р., Юрченко С., Колеснікова М., Vyshnevsky D., Заєць А., Shepel A., Aliyev K., Najiyeva A., Shukur N., Karimova R.

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). ©

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.

REVIEW OF THE LATEST OPINIONS AND THEORIES REGARDING THE DEVELOPMENT
OF TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES

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:

Review of the latest opinions and theories regarding the development of technical and agricultural sciences: collective monograph / Horbatiuk K., Babyak V. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2023. 524 p. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4

TABLE OF CONTENTS

1. ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION		
1.1	<p>Horbatiuk K.¹, Babyak V.¹</p> <p>MODERN VISION OF THE ARCHITECTURE OF RECREATIONAL HOUSING IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS</p> <p>¹ Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University</p>	11
1.2	<p>Zaulychna I.¹, Babyak V.¹</p> <p>INTEGRATION EDUCATIONAL CENTRES FOR ADULTS WITH DISABILITIES AS A NEW AND RELEVANT TYPE OF FACILITY FOR UKRAINE, AS WE ARE BUILDING AN INCLUSIVE SOCIETY</p> <p>¹ Department of architectural design and engineering, Lviv Polytechnic National University</p>	20
1.2.1	INTRODUCTION	20
1.2.2	INCLUSION IN UKRAINE	21
1.2.3	FOREIGN EXPERIENCE	23
1.2.4	FUNCTIONAL CONTENT	27
1.2.5	CONCLUSION	28
1.3	<p>Василенко О.¹, Намчук О.¹, Мінченков Р.¹, Эль Ешеіх Ель Алауі Дуаа¹, Чвирова О.²</p> <p>ФОРМУВАННЯ СВІТЛОВОГО СЕРЕДОВИЩА ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ МІСТА</p> <p>¹ Кафедра дизайну архітектурного середовища, Одеська державна академія будівництва та архітектури</p> <p>² Кафедра архітектури будівель та споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури</p>	29
1.4	<p>Синьковська О.¹</p> <p>АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НЕСНОЇ ЗДАТНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ В СТАЛЕВІЙ ОБОЙМІ</p> <p>¹ Кафедра мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського, Харківський національний автомобільно-дорожній університет</p>	39
2. CHEMICAL TECHNOLOGIES		
2.1	<p>Bukliv R.¹, Komarenska Z.¹, Oliynyk L.¹</p> <p>CURRENT ISSUES RELATED TO THE STUDY OF CHEMISTRY AT SCHOOL</p> <p>¹ Lviv Polytechnic National University</p>	68

3. COMPUTER SCIENCE		
3.1	<p>Сіара S.¹</p> <p>PROACTIVE PROTECTION OF 5G NR NETWORKS FROM JAMMING ATTACKS</p> <p>¹ The Ukrainian scientific and research Institute of special equipment and forensic expertise of the Security Service of Ukraine (ISEE SSU)</p>	77
3.2	<p>Шишацький А.В.¹, Жук О.В.², Гурський Т.Г., ³ Маций О.Б.⁴, Шапошнікова О.П.⁵</p> <p>МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ ЗАВАДОЗАХИСТУ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ</p> <p>¹ Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна</p> <p>² Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, м. Київ, Україна</p> <p>³ Науково-дослідний інститут військової розвідки, м. Київ, Україна</p> <p>⁴ Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна</p> <p>⁵ Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна</p>	94
4. ELECTRICAL ENGINEERING		
4.1	<p>Kipenskyi A.¹, Shamardina V.², Korol Y.², Babkova N.¹</p> <p>FROM LUIGI GALVANI'S EXPERIENCES TO INTELLIGENT ELECTROTHERAPEUTIC SYSTEMS</p> <p>¹ Educational and Research Institute of Social and Humanitarian Technologies, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»</p> <p>² Educational and Research Institute of Energy, Electronics And Electromechanicsnational, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»</p>	122
5. GENERAL AGRICULTURE		
5.1	<p>Levchuk R.¹, Mylyanych A.¹, Fedorova O.¹</p> <p>RESEARCH OF POSSIBILITIES FOR UTILIZATION OF SOLID PHARMECEUTICAL RAW PLANT MATERIAL WASTE FOR FERTILIZER PRODUCTION</p> <p>¹ Department of Technology of Biologically Active Substances, Pharmacy and Biotechnology, Lviv National university "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine</p>	145
5.2	<p>Бреус Д.С.¹, Євтушенко О.Т.¹</p> <p>РОЛЬ БІОДОБРИВ ДЛЯ РОЗВИТКУ СТАЛОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ</p> <p>¹ Кафедра екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет</p>	153

5.2.1	СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БІОЛОГІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	155
5.2.2	ЗАСТОСУВАННЯ БІОДОБРІВ У СУЧАСНИХ АГРОТЕХНОЛОГІЯХ	163
5.2.3	РИЗОСФЕРА ТА КОРИСНІ ДЛЯ РОСЛИН МІКРООРГАНІЗМИ	165
5.2.4	БАКТЕРІЇ, ЩО СТИМУЛЮЮТЬ РІСТ РОСЛИН	166
5.2.5	МЕТАЛОФІТИ ТА ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ МЕТАЛОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ	173
5.2.6	МЕХАНІЗМИ СТИМУЛЮВАННЯ РОСТУ РОСЛИН МІКРОБАМИ	178
5.2.6.1	БІОЛОГІЧНА АЗОТФІКСАЦІЯ	181
5.2.6.2	РОЗЧИНЕННЯ ФОСФОРУ	183
5.2.6.3	ВИРОБНИЦТВО СИДЕРОФОРІВ	183
5.2.6.4	ВИРОБНИЦТВО ФІТОГОРМОНІВ	184
5.2.6.5	ВИРОБНИЦТВО АНТИБІОТИКІВ ТА ФЕРМЕНТІВ	186
5.2.6.7	РОЗЧИНЕННЯ ЦИНКУ	187
5.2.7	РОЛЬ БІОДОБРІВ У БІОЛОГІЧНОМУ КОНТРОЛІ	187
6.	INNOVATIVE TECHNOLOGIES	
6.1	Lys S. ¹ , Yurasova O. ¹ , Galyanchuk I. ¹ THE EFFECT OF POLLUTION OF COMPONENT SURFACES AS A RESULT OF POSSIBLE CONTACT OF FRESH NUCLEAR FUEL WITH SEA ATMOSPHERE ON CORROSION ¹ Department of Heat Engineering and Thermal and Nuclear Power Plants, Lviv Polytechnic National University	192
6.2	Redko Y. ¹ , Haranina O. ¹ , Vardanian A. ¹ SURFACE MODIFICATION OF FUNCTIONAL IRON OXIDE PIGMENT PARTICLES WITH ANION ACTIVE SUBSTANCE FOR IMPROVED DISPERSION STABILITY AND PROCESSING TEXTILE MATERIALS ¹ Kyiv National University of Technologies & Design	201
6.2.1.1	ТЕОРЕТИЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ПРИ СИНТЕЗІ МАГНЕТИТУ У ПРИСУТНОСТІ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ	202
6.2.1.2	ВСТАНОВЛЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З МАГНІТНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ЗА МЕХАНІЗМОМ ГЕТЕРОКОАГУЛЯЦІЇ	205
6.2.1.3	ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ ЕЛЕКТРОЛІТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОПЕРЕДНЬОГО ОБРОБЛЕННЯ РОЗЧИНОМ ЕЛЕКТРОЛІТУ	207

REVIEW OF THE LATEST OPINIONS AND THEORIES REGARDING THE DEVELOPMENT
OF TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES

6.2.1.4	РЕНТГЕНО-ФАЗОВИЙ АНАЛІЗ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ ЧАСТИНКИ МАГНЕТИТУ	214
6.2.2.1	ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧНОГО МАГНЕТИТУ	216
6.2.2.2	ВСТАНОВЛЕННЯ ВПЛИВУ УМОВ НА МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІАМІДНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ОБРОБЛЕНИХ НАНОМАГНЕТИТОМ	219
6.3	Переяславцева О. ¹ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОТРИМАННЯ ПОРОШКОВОЇ ФОРМИ ВИСОКОВОЛОГОЇ СУСПЕНЗІЇ СИНЬО-ЗЕЛЕНОЇ ВОДОРОСТІ МЕТОДОМ РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО СУШІННЯ	223
	¹ Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, м. Київ	
7.	MECHANICAL ENGINEERING	
7.1	Shchukin O. ¹ INCREASING THE SERVICE LIFE OF CUTTING ELEMENTS OF MOTOR GRADER WORKING PARTS	233
	¹ Department of construction and road-building machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University	
8.	METALLURGY AND ENERGY	
8.1	Makarov V. ¹ , Kaplin M. ¹ , Makarova S. ² METHODOLOGICAL APPROACHES TO IDENTIFYING PROMISING MINES TO PROVIDE FUEL FOR THERMAL POWER PLANTS	242
	¹ General Energy Institute of NAS of Ukraine, Kyiv ² General secondary education institution № 199, Kyiv	
8.2	Рymar T. ¹ REDUCTION OF INVESTMENTS IN HEATING SYSTEMS WHEN CHOOSING A LOW-TEMPERATURE NETWORK SCHEDULE AS THE DOMINANT ONE	249
	¹ Department of Heat Engineering and Thermal and Nuclear Power Plants, Lviv Polytechnic National University	
9.	PLANT GROWING	
9.1	Чугрій Г. ¹ , Вінюков О. ¹ , Бондарева О. ¹ , Вискуб Р. ¹ ВПЛИВ АГРОБІОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР	259
	¹ Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція Національної академії аграрних наук України	

10. TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS		
10.1	Юрченко С. ¹ , Колеснікова М. ¹ ТЕХНОЛОГІЯ МУСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КРОХМАЛЮ ПШЕНИЧНОГО ¹ Кафедра харчових технологій в ресторанній індустрії, Державний біотехнологічний університет	274
10.1.1	СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ВИРОБНИЦТВА СОЛОДКИХ СТРАВ З ПІНОПОДІБНОЮ СТРУКТУРОЮ	274
10.1.2	ОРГАНІЗАЦІЯ, ПРЕДМЕТИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	299
10.1.3	НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОДЕРЖАННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПІНОПОДІБНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПШЕНИЧНОГО КРОХМАЛЮ	305
10.1.4	РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МУСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПШЕНИЧНОГО КРОХМАЛЮ	332
11. TERRITORIAL PLANNING AND URBANISATION		
11.1	Vyshnevsky D. ¹ TERRITORIAL PLANNING OF REGIONAL DEVELOPMENT IN UKRAINE AND THE WORLD: FROM HISTORY TO THE PRESENT ¹ O.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy	353
12. TRANSPORT		
12.1	Заєць А. ¹ ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНОГО ТИПУ БУРОВИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ШЕЛЬФУ АЗОВСЬКОГО МОРЯ З УРАХУВАННЯМ ЛЬДОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ¹ Кафедра Суднобудування і судноремонту ім. проф. Ю.Л. Воробйова, Одеса, Одеський національний морський університет	366
13. VEGETABLE GROWING		
13.1	Shepel A. ¹ THE INFLUENCE OF PLANT DENSIFICATION ON THE YIELD OF WHITE-HEAD CABBAGE IN SOUTHERN UKRAINE ¹ Department of Agriculture, Kherson State Agrarian and Economic University, Ukraine	424
13.1.1	BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CULTURE	425
13.1.2	AGROTECHNICS OF CROP CULTIVATION	426

13.1.3	BIOMETRIC INDICATORS OF PLANTS	426
13.1.4	CHANGES IN MORPHOLOGICAL INDICATORS OF CABBAGE PLANTS	428
13.1.5	PRODUCTIVITY AND MARKETABILITY OF HARVESTED CABBAGE	431
14.	WIND POWER	
14.1	Aliyev K. ¹ , Hajiyeva A. ¹ , Shukur N. ² ANALYSIS OF «HORIZONTAL» WIND TURBINES FROM DIFFERENT ASPECTS ¹ Department of Petroleum engineering, Azerbaijan State Oil and Industry University ² Department of Energy Technology, Azerbaijan State Oil and Industry University	434
14.1.1	INTRODUCTION	434
14.1.2	METHODOLOGY	437
14.1.2.1	OVERVIEW OF MEASUREMENT	437
14.1.2.2	FACTORS THAT ENHANCE THE EFFICIENCY	437
14.1.2.2.1	WIND SPEED AND LENGTH OF WIND SEASON	437
14.1.2.2.2	DIAMETER OF THE ROTATING BLADES	438
14.1.2.2.3	THE EFFICIENCY OF WIND TURBINE COMPONENTS	439
14.1.2.2.4	PITCH CONTROL	440
14.1.2.2.5	ARRANGEMENT OF THE TURBINES IN THE FARM	441
14.1.2.3	FACTORS THAT DIMINISH THE EFFICIENCY	442
14.1.2.3.1	AERODYNAMIC DRUG	443
14.1.2.3.2	BLADE FRICTION	445
14.1.2.3.3	AIR DENSITY	445
14.1.2.3.4	CORROSION OF OWTS	446
14.1.2.4	WAVE LOADING ON THE WIND TURBINE TOWER	449
14.1.2.4.1	EQUIVALENT WAVE FORCE OF FLOATING WIND TURBINE	449
14.1.2.4.2	PREDICTION OF WAVE INDUCED LOAD	450
14.1.2.5	POWER CURVE ADJUSTMENTS OF OWTS FOR TEMPERATURE AND ALTITUDE	451
14.1.2.6	VEHICLE-MOUNTED WIND TURBINE	453
14.1.3	TYPES OF WIND TURBINES FOR MARINE APPLICATIONS	454
14.1.3.1	BOTTOM-FIXED FOUNDATION	454
14.1.3.2	FLOATING	455
14.1.3.3	HYBRID OFFSHORE WIND TURBINE	456
14.1.4	FUTURE TRENDS AND INNOVATIONS	458
14.1.4.1	WINDFLOAT ATLANTIC	458
14.1.4.2	THE REDWOOD COAST OFFSHORE WIND PROJECT	459
14.1.4.3	BATWIND PROJECT	461
14.1.4.4	ICEBREAKER WIND	462
14.1.5	ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF OWTS	463
14.1.5.1	ADVANTAGES OF OWTS	463

REVIEW OF THE LATEST OPINIONS AND THEORIES REGARDING THE DEVELOPMENT
OF TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES

14.1.5.1.1	GENERATES MORE ENERGY	463
14.1.5.1.2	MORE WIND CONSISTENCY	464
14.1.5.1.3	LESS INTRUSIVE	464
14.1.5.1.4	BIGGER TURBINES	464
14.1.5.2.1	LESS LOCAL INVOLVEMENT	464
14.1.5.2.2	MAINTENANCE & REPAIRS	465
14.1.5.2.3	NOISE & VISIBILITY	465
14.1.5.2.4	LESS LOCAL JOBS	465
14.2	Hajiyeva A. ¹ , Aliyev K. ¹ , Karimova R. ² THEORETICAL AND MATHEMATICAL ANALYSIS OF A BLADELESS WIND TURBINE ¹ Department of Petroleum engineering, Azerbaijan State Oil and Industry University ² Department of Energy technology, Azerbaijan State Oil and Industry University	468
14.2.1	INTRODUCTION	468
14.2.2	TRADITIONAL WIND TURBINES VS BLADELESS WIND TURBINES	469
14.2.3	STRUCTURE & OPERATION	470
14.2.4	ENERGY HARNESS	470
14.2.5	ENERGY CONVERSION	471
14.2.6	DIFFERENCES BETWEEN BLADELESS AND TRADITIONAL WIND TURBINES	471
14.2.7	THE WORKING PRINCIPLES OF BLADELESS WIND TURBINES?	471
14.2.8	POTENTIAL APPLICATIONS	473
14.2.9	BLADELESS MATHEMATICAL MODEL AND POWER CALCULATION	474
14.2.10	ADVANTAGES	479
14.2.11	DISADVANTAGES	479
14.2.12	FUTURE OF BLADELESS WIND TURBINES	480
14.2.13	CONSLUSION	480
	REFERENCES	482

SECTION 1. ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.1.1

1.1 Modern vision of the architecture of recreational housing in the Ukrainian Carpathians

The article summarizes the experience of studying the architectural features of wooden recreational buildings in the Carpathian recreational region. Local and general trends in the development of recreational architecture are formulated. The specific features of architectural solutions of recreational facilities are formulated. A new approach to the design of recreational buildings in the Carpathian region is proposed.

The purpose of the article is to present tendencies in the development of modern recreational architecture in the Carpathian region, taking into account the historical context and current trends.

The Carpathian recreational region has a huge potential for health improvement, treatment, and recreation, and it is developing in space and time. Since the first half of the nineteenth century, it has been one of the main centers of the recreation industry in Eastern Europe. Rich in history, the Carpathian Mountains occupy a favorable geographical location in the center of Europe, with good transport accessibility, distinctive terrain and well-preserved objects of material and spiritual heritage.

The intensification of construction activities, development and restoration of the recreational potential of the Carpathian region began in the 2000s and continues to this day with varying degrees of growth dynamics, although many issues remain unresolved. The scientific problem is the need to research and substantiate new approaches to solving architectural and planning problems in the construction of recreational buildings.

In the Carpathian region, recreational architecture is often represented by wooden buildings and structures. Traditional huts in the Carpathians vary from area to area, but most houses in the region traditionally had a one-story rectangular plan; one or two rooms; a central chimney; a gable, pyramid, or hip roof; and plastered and lime-whitewashed walls. [5], [6].

Examples of traditional Carpathian huts:



Figure 1. Hutsul Grazhda



Figure 2. Boykiv house

From the early 2000s to the present day, a remarkable number of vacation houses and cottages made of wood in the style of pseudo-traditional kolybas have been built and are still being designed in the Carpathians. However, often due to the ignorance of designers and an attempt to reduce construction costs, modern buildings lose the features of traditional ones and wooden houses bear little resemblance to authentic ones: they look similar, atypical for the ethnic architecture of the Carpathian region

and are often made of non-environmentally friendly materials that imitate natural ones. [7].

Examples of non-traditional housing for the Carpathians, which distorts the vision of the traditions of the architecture of the region:



Figure 3. A cottage in Slavske



Figure 4. «The estate of Peter and Paul» Figure 5. «BUDILAROSH» Manor

Now they are starting to build more diverse residential and vacation buildings in the Ukrainian Carpathians, which are in greater demand for rent. [8].

Some examples of modern vacation homes:



Figure 6. «KM Polyanytsya Hills&SPA»



Figure 7. «Travy, Tataryv»

Looking at the international experience of building houses in the mountains, we see an even greater variety of forms and materials. And we can also see that the buildings are in scale with humans and are naturally integrated into the natural mountain environment. [9].



Figure 7. «Tiny cabine»



Figure 8. «Aguacates House», Mexico

Based on the analyzed research, it is worth moving away from imitating wooden huts and creating a modern reinterpretation, while leaving the genetic code of the

Ukrainian Carpathians in the interior and details of the buildings. Also, these buildings should be human-scale and not aggressive towards nature and traditional huts.

The concept is to create comfortable houses with ergonomic spaces, seamlessly blending the buildings into the existing mountainous landscape to keep nature and the mountain panorama as the main focus.



Figure 9. Placement of buildings on the terrain

The idea is to create separate vacation cabins that are recessed into the ground on the north side. For this purpose, retaining walls ending in gabions were designed. It is also convenient from the point of view of communications and planning. On the north side, despite the retaining wall, which is deepened into the ground, there are non-residential technical rooms: bathrooms, pantries, kitchens. At the same time, the solid glass from the south to the east side, where the bedrooms and living rooms are designed, offers a magnificent panorama of the slopes of the Carpathians.

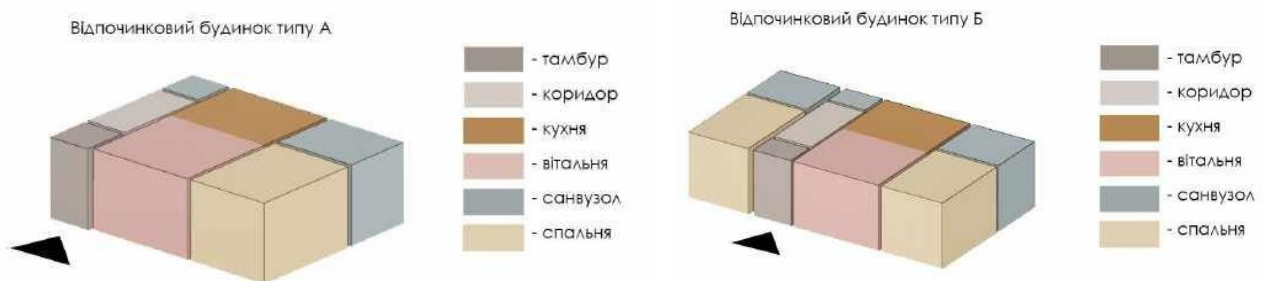


Figure 10. Planning scheme of typical houses



Figure 11. Visualization of the recreation center

To preserve the natural panorama, the buildings are designed only for the 1st and 2nd floors (maximum building height is 6 m).

In addition, it was proposed to use extensive greenery on all roofs, which does not require additional maintenance and creates an even more eco-friendly environment and a visual flow of green hills into the roofs of the buildings.

In the facades of the houses, we wanted to combine rough light walls, reminiscent of lime-whitewashed walls, and wooden elements. The exterior of the facades is made of decorative plaster with the effect of rough concrete, in some parts there are inserts of plank.



Figure 12. Building facades

The structural scheme of the building is designed as a frameless building with load-bearing walls. The external and internal load-bearing walls are made of gas block masonry, and the retaining wall is monolithic reinforced concrete. The foundations are monolithic bored piles with spacers. The floors are monolithic reinforced concrete.

The building's rigidity is ensured in the horizontal position by monolithic reinforced concrete floors and in the vertical plane by load-bearing walls. The roof structure is a flat roof with a green extensive roof.

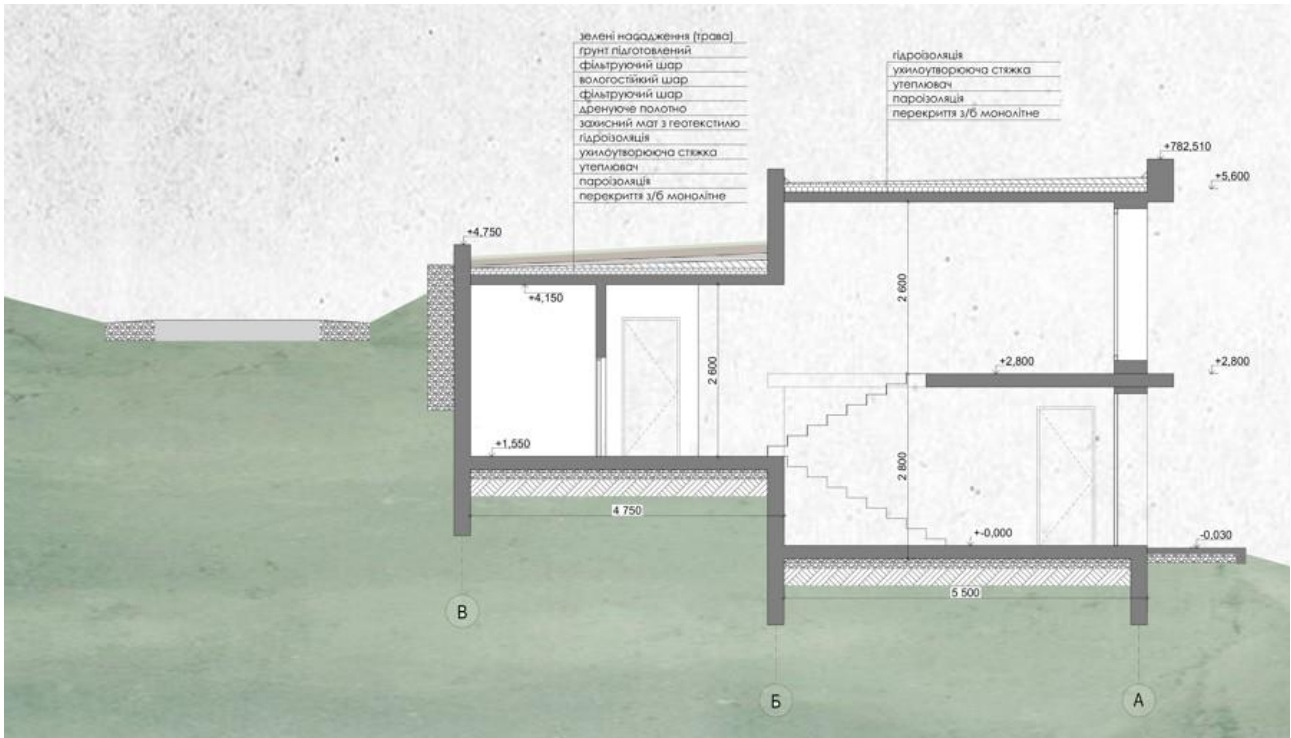


Figure 13. Section of a 2-level house

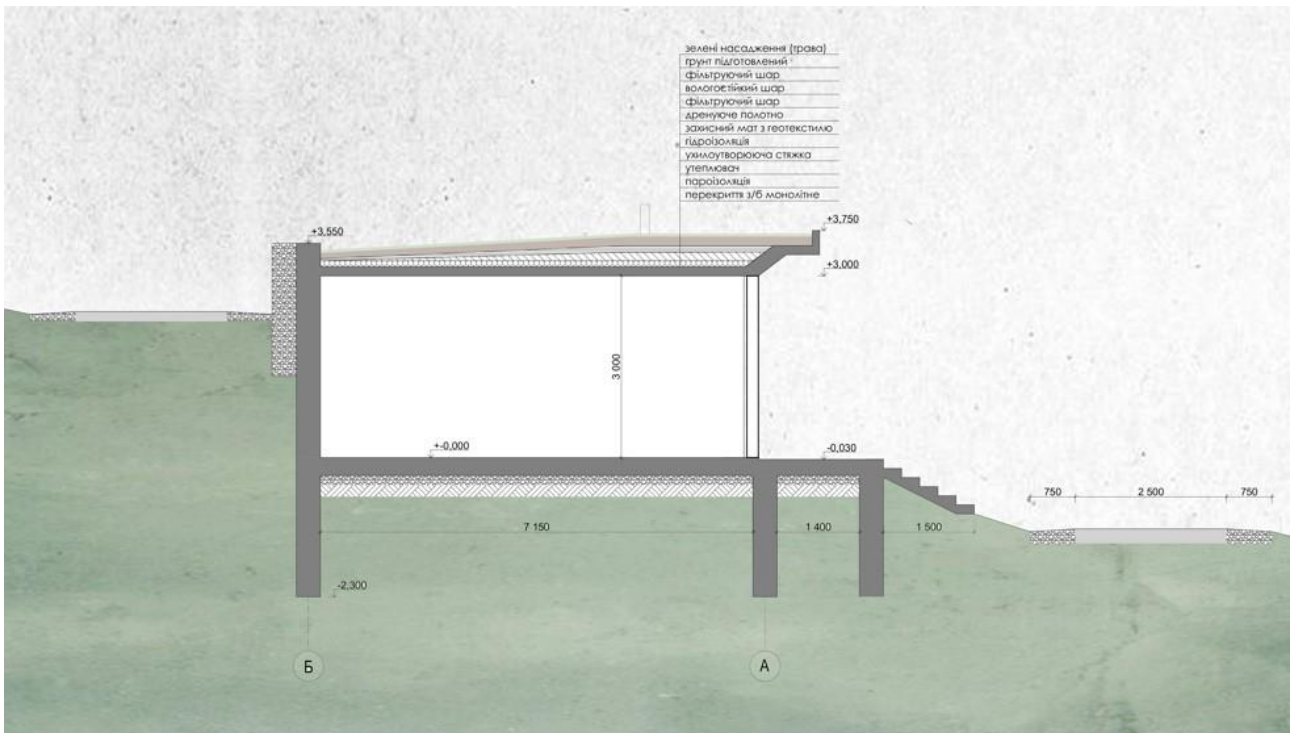


Figure 13. Section of a 1-level house

In conclusion, this form of recreational construction is promising for the Ukrainian Carpathians. This project can be adapted to any other location in the Carpathian region, and in general, not only. The use of local natural materials is environmentally friendly and economically feasible. The semi-buried form of the residential building has become especially relevant and safe in times of war. This design scheme creates safer dwellings, where windowless rooms located near the retaining wall can serve as a shelter in case of danger. Such houses are beneficial for the development of our region and will create a recognizable style of natural architecture in the Ukrainian Carpathians.

1.2 Integration educational centres for adults with disabilities as a new and relevant type of facility for Ukraine, as we are building an inclusive society

Annotation. The article examines the relevance and the need to create integration educational institutions for adults with disabilities in the context of building an inclusive society in Ukraine. It develops a new approach to the functional content of such facilities and their important role in promoting the education, development and social integration of people with disabilities.

The purpose of the article is to analyze the essence and the need for integration educational centers for adults with disabilities as an innovative type of as an innovative type of building in the context of the development of an inclusive society in Ukraine.

1.2.1 Introduction

Integration Education Centers for Adults with Disabilities play a key role in creating an inclusive society in Ukraine.

The centers provide education and training opportunities for adults with disabilities. This includes academic education, vocational training, and life skills to help them function independently. They promote the social integration of people with disabilities by helping them interact with others, develop social skills and feel part of society. They can provide medical support and rehabilitation for people with disabilities to improve their physical and mental health. Provide vocational training and job search assistance to facilitate integration into production and work processes. Contribute to the elimination of stigma associated with disability and help redefine society's perception of the capabilities of people with disabilities, and promote partnerships with local communities, government and other organizations to jointly implement inclusive initiatives.

In the coming years, our environment will be even more in need of inclusive environments and places where people can truly adapt to contemporary social life.

1.2.2 Inclusion in Ukraine

Ukraine is actively developing inclusive education to ensure that people with disabilities have access to mainstream education alongside their non-disabled peers. However, there are some challenges in implementing this system, including insufficient access to specialized resources and insufficient training for teachers to work with children with disabilities, let alone adults.

Ukraine has adopted legislation aimed at protecting the rights of persons with disabilities and supporting inclusive education. For example, the Law of Ukraine "On Education" defines the principles of inclusive education and the rights of students with special educational needs, but there are no similar principles for adults, which can lead to their feeling isolated from society after completing secondary education [17]. It is important to emphasize that inclusion is not limited to children. Inclusive education centres for adults with disabilities play an important role in providing opportunities for learning, vocational development and social integration of adults with disabilities.



Figure 1: Center for Comprehensive Rehabilitation and Social Services for Children and People with Disabilities, Kyiv.



Figure 2. Rehabilitation centre "Unbreakable", Lviv.

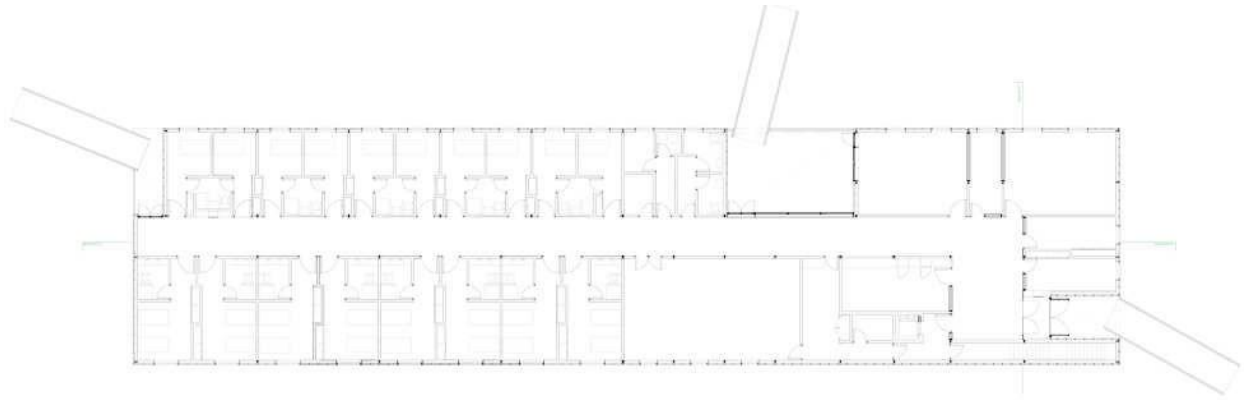
An example of a similar type of space is located in Lviv by the organization Dzherelo. These are small rooms in each district of Lviv on the ground floor, converted into classrooms. Their significant achievement is the preservation of accessibility and the possibility of full-time stay, but the disadvantage is the small area, limited number of users, functions and integration into the society itself, i.e. direct communication with city residents [18]. A recent project in Kyiv is also an example, but it is characterized by not very clear architectural solutions [19]. Of course, the absence of this type of facility is due to a number of reasons, such as lack of funding, but nevertheless there are plans to build a large-scale complex for the rehabilitation of soldiers called "Unbreakable" in Lviv. Valeriy Sushkevych, the head of the National Assembly of People with Disabilities, believes that the "disability" of the Ukrainian population over the past 16 months - from the beginning of the war until mid-2023 - has been very high and is becoming a critical problem for society. At the same time, as of January 1, 2020, 2.7 million people in Ukraine have disabilities, including 222.3 thousand people with group I disabilities, 900.8 thousand people with group II disabilities, 1416.0 thousand people with group III disabilities, and 163.9 thousand children with disabilities [15]. Currently there are 3 million people with disabilities, and their number has increased

by about 300 thousand in one and a half years. About 70-80% of people with disabilities are able to work fully on an equal basis with others, as most of them do not show any external signs of disability, and in 53% of cases people with disabilities can work in a regular workplace"[16].

1.2.3 Foreign experience

In many developed countries, such as the United States, Canada, and the European Union, inclusive education centers for adults with disabilities have been in existence for many years and have largely operated successfully. These countries are actively developing a system of inclusive education that includes children and adults with various types of disabilities. Successful integration centers actively collaborate with local communities, non-profit organizations, businesses, and government. This helps to create an enabling environment for inclusion and supports people with disabilities to participate in society [11].

REVIEW OF THE LATEST OPINIONS AND THEORIES REGARDING THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES



proyecto Módulo para el tratamiento de Jóvenes con
Discapacidades Conductuales situación Camporillo (Zaragoza)

arquitecto José Javier Collado Ortega
escala 1:200

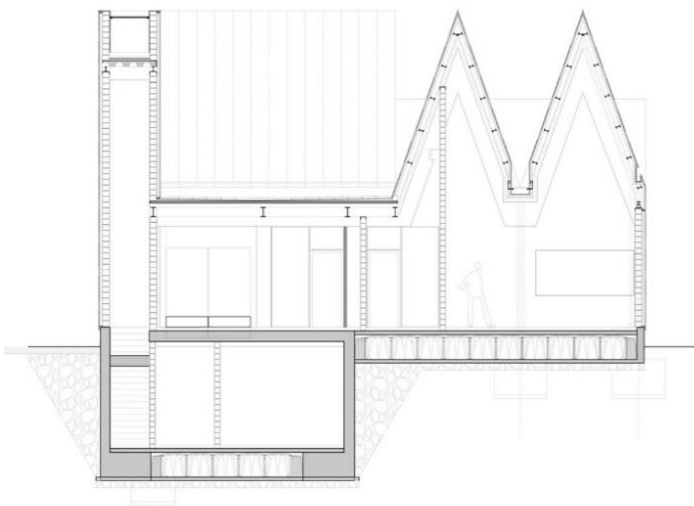
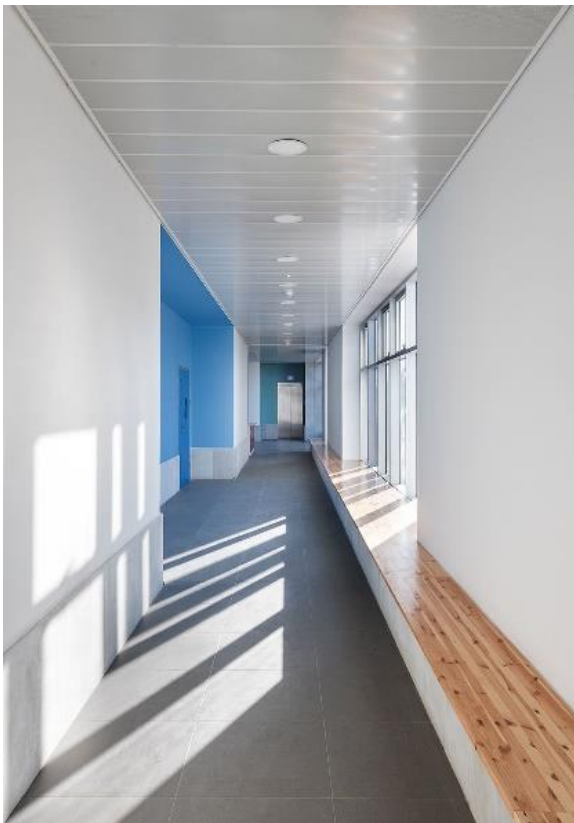
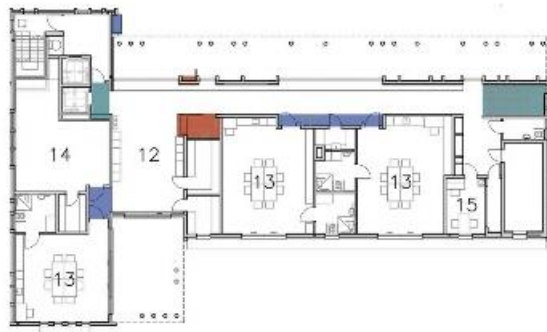


Figure 3-7. Center for people with disabilities, Spain, 2011.

REVIEW OF THE LATEST OPINIONS AND THEORIES REGARDING THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL AND AGRICULTURAL SCIENCES

Data and statistics show that integration centers help improve the quality of life of people with disabilities and facilitate their social integration and employment.





First Floor
12 First Floor Lobby
13 Activity Rooms
14 Physiotherapy Room
15 Therapy Rooms



Figure 8-11. Community centre for people with disabilities, Israel, 2018.

I personally noticed this when I volunteered in such a center in Denizli, Turkey. The building was filled with small, bright rooms for various work and cultural development with communication.

A number of examples of these facilities show that they are all low-rise, bright, and have learning and work functions. This is done in different ways, even completely segregated, depending on the diagnosis of the user. Another important factor is the presence of an increased number of elevators and inclusive bathrooms, and the organization of external closed or open spaces, depending on the intersection of people flows. It is also noticeable that all the centers are small and with a limited number of users, usually located in the natural environment [10,12, 13].

1.2.4 Functional content

According to the international examples analyzed, non-representative interviews with the target population, and our own field research, this type of facility requires the following functions

- Physiotherapy and rehabilitation classes: professional physiotherapists offer individualized programs to develop motor skills, restore motor activity, and reduce pain.

- Psychological support: Psychologists and counselors work with the center's participants to provide psychological support, develop self-management skills, and help them achieve their personal goals.

- Social Adaptation: Training in communication skills, communication and interaction in society is provided to help understand and adapt to the peculiarities of social relationships.

- Creativity and hobbies: Center participants are given the opportunity to develop their talents and interests by participating in music groups, art studios, drama groups, etc.

Professional training:

- Vocational Courses: The center works with various vocational schools and organizations to provide center participants with the opportunity to learn practical skills in various fields such as computer literacy, cooking, sewing, repair, and others.

- Internships and Practical Training: Center participants have the opportunity to gain practical skills and work experience through internships with partner organizations, shops, restaurants, and other businesses.

- Entrepreneurial Skills: Entrepreneurship training is provided to teach participants the basics of business management, financial literacy, and the development of entrepreneurial ideas.

- Career support: The center provides individualized career support to participants, helping them develop their resumes, learn interview skills, search for jobs, and support them in the employment process.

The above examples in Ukraine do not provide such a range of services and usually only meet the need for preschool or secondary education, creativity and psychological support, which is not enough to become part of a social circle. Rural residents with disabilities face the greatest difficulties, as they do not have the opportunity to travel to regional centers and, accordingly, do not have the opportunity to earn money due to the lack of adaptation.

1.2.5 Conclusion

The relevance of this center was noted during the observation. As the number of people in the world who are born with disabilities or acquire them according to statistics is increasing, their need for the opportunity to be part of society is growing. They can still work in certain fields and help the economy of the country. There are not many institutions of this type in the world, but they always actively cooperate with the community and involve volunteers. Also, due to the full-scale invasion, many people who are unable to socialize and have physical injuries of varying degrees will return to civilian life. Such a facility will contribute to a more tolerant community and connect different segments of the population. And the architectural community can help by allowing the efficient use of space for this purpose and the implementation of these facilities in the city. At the moment, many rehabilitation centers are being designed, but they miss a segment of the population that also needs help.

1.3 Формування світлового середовища житлової забудови міста

Елемент «природне середовище» (природа) є одним із визначальних (стимулюючих або обмежуючих) розвиток демоекосистем. Вплив природно-кліматичних факторів (умов) на їх розвиток може бути як прямим так і непрямим. Прикладом прямого впливу можуть слугувати суворі умови півночі, які обмежують містобудування, або сприятливі для сільського господарства і багаті рекреаційними ресурсами райони півдня і середньої смуги європейської частини країни, що створюють оптимальні екологічні умови для населення. Прикладом непрямого впливу природного середовища на формування демоекосистем є розміщення добувної і обробної промисловості безпосередньо біля ділянок природних копалин: величезні виробничі комплекси, що з'являються на їх базі, є в свою чергу причиною розвитку агломерацій (населених місць, які переростають поступово у функціонально єдину систему розселення). Вже на ранніх стадіях розвитку людського суспільства архітектура, забезпечуючи комфортність середовища, адаптувалася до регіональних особливостей природного середовища і клімату.

Приклади першого містобудівного досвіду доводять, що малюнок (креслення) плану міста був орієнтований по сторонах світу: в холодних країнах завжди прагнули «зловити» більше сонячного світла, а в жарких – захиститися від палючих променів [20]. Підтвердженням того, що жителі південних держав при плануванні та виборі територій для будівництва своїх міст завжди шукали сприятливі природнокліматичні умови, свідчить розміщення м. Приєни (IV ст. до н.е.), Ассоса, Кніда та ін. Кожен з них мав яскраво виражену південну орієнтацію і розкривався у бік моря, використовуючи сприятливий вплив морських бризів. На південь орієнтувалися складські споруди своїми довгими сторонами, театри і елліністичні житлові будинки з дворики на південній стороні, що дозволяло і основні приміщення звертати на південну сторону горизонту.

Україна розміщена в IV широтному поясі. Дослідженнями вчених доведена необхідність безпосереднього урахування при вивченні світлового клімату в четвертому кліматичному поясі можливості сонячного сьйва, яке справляє великий вплив на світловий клімат території. Особливості сонячного клімату при нормуванні природного освітлення в четвертій кліматичній зоні враховують коефіцієнтом сонячності C .

За характером рельєфу та природно-кліматичним особливостям територію західної частини України, до якої входять Львівська, Івано-Франківська, Чернівецька та Закарпатська області, прийнято ділити на три основні зони: Прикарпаття, Карпати та Закарпаття. Клімат основних зон Українських Карпат формується складною взаємодією великої кількості складових, серед яких основну роль грають режим сонячної радіації та характер атмосферної циркуляції, зумовлені географічним положенням та особливостями рельєфу. Прикарпатська рівнина тягнеться з північно-східного боку, вона трохи підвищена. Пасма Карпатських гір пролягають з північного заходу на південний схід, а південно-західні схили гір переходять у пласкі низини Закарпаття. Тривалість сонячного сьйва для Прикарпаття складає у середньому 1700-1800 год/рік, а річна сума падаючої сонячної радіації – 4,1 – 4,5 ГДж/м²; для Карпат – 1400 – 1500 год/рік і відповідно річна сума падаючої сонячної радіації – 3,2 – 3,6 ГДж/м²; для Закарпаття – 2000 – 2100 год/рік та 4,5 – 4,9 ГДж/м². Дані про річну тривалість сонячного сьйва та річній сумі падаючої сонячної радіації мають основне значення для оцінки геліоенергетичного потенціалу території. В Києві, Одесі та Ялті показники річної суми падаючої сонячної радіації відповідно дорівнюють 4,55; 4,78 та 5,50 ГДж/м². На підставі узагальненої геліооцінки території Західного регіону України на рівні фонових кліматичних даних можна відзначити, що використання сонячної енергії рекомендується в Закарпатті, припускається в Прикарпатті й не рекомендується в Карпатах. Більш детальна оцінка місцевих природно-кліматичних умов дозволяє точніше обрати ділянки території, забудова яких геліоархітектурними об'єктами дає додатковий пріоритет у збільшенні їх теплопостачання та зменшенні тепловитрат [21].

Світлокліматичні та радіаційні характеристики місцевості, які використовуються в архітектурному проектуванні, потребують попередньої обробки та повинні бути представлені у зручному вигляді для практичних застосувань. Як світловий клімат, так і радіаційний режим місцевості складаються з достатньо великого числа окремих елементів. У промислових центрах великих міст (Запоріжжя, Донбас) коефіцієнт прозорості атмосфери близький до 0,6. Для цих умов відносна яскравість неба знижується у нижній третині горизонту не менш, ніж на 40 %. Систематичне вивчення основних характеристик світлового клімату приводить до визначення якісних характеристик природного освітлення, безпосередньо зв'язаних з комфортністю світлового середовища (таких, як блискучість, нерівномірність у часі та просторі та т. ін.) [22].

Промениста енергія Сонця, проходячи скрізь атмосферу, частково розсіюється, поглинається та досягає земної поверхні у вигляді прямої та розсіяної від небосхилу радіації. Частка променистої енергії віддзеркалюється від поверхні, що підстилається, оточуючих предметів та створює віддзеркалену радіацію. Ці елементи радіаційного режиму необхідні для оцінки природного освітлення приміщень. Зі зростанням висоти Сонця над горизонтом зростають і пряма, і розсіяна компоненти радіації. Хмарність впливає на інтенсивність розсіяної радіації. Прозора атмосфера підвищує пряму та знижує розсіяну складові радіації.

Про те, як кліматичні умови та сонячне світло впливає на формування архітектурної композиції, можна простежити на прикладі традиційного українського житла.

Характерним планувальним прийомом забезпечення системи світлових засобів, що сприяє створенню умов комфортності світлового архітектурного середовища сільського житла в Україні, що склався, є постановка «хати» на території садиби таким чином, щоб стіна, в якій улаштовувалась найбільша кількість прорізів, була орієнтована на південь, південний схід або південний захід. Така орієнтація будинку підвищує його зручність та створює найбільш

сприятливі умови експлуатації, так як житлове приміщення має достатню інсоляцію, не перегрівається сонячними променями взимку. Це обумовлює і положення житлового будинку по відношенню до вулиці, в залежності від її спрямованості до боків світу. При меридіональній орієнтації вулиці (північ – південь) житлові будинки ставлять до вулиці зазвичай перпендикулярно, вузьким боком; при широкій орієнтації вулиці (схід – захід) будинки ставлять паралельно, довгим боком. Причому в бік вулиці повернуті або основний фасад, орієнтований на південні румби, або тилловий бік, який, як правило, орієнтується на північ.

Народне житло в плані мало поздовжньо-витягнену композицію. В північній та лісостеповій зоні співвідношення боків дорівнювалось 1:1,4 – 1:2,25, ширина будинку – 4,5 – 6 метрів. У південних районах України співвідношення боків у плані – 1:1,7 0 1:2,5, ширина будинку – 4 – 5 метрів. Масовим типом селянського житла в Україні в XIX ст. були різні варіанти будинків, які мали одне житлове приміщення (одно- двох- трьох- камерне житло).

Наприкінці XIX ст. у центральних та східних районах Лісостепу був розповсюджений тип «хата і хатина», на початку XX ст. у північних районах України зустрічається тип «дві хати підряд», у західних районах центральної смуги та частково на півдні України було розповсюджене планування будинку по типу «хата скрізь сіні», на півдні та частково на заході України найбільше розповсюдження отримав тип «хата на дві половини». У період кінця XIX – початку XX ст. в Україні існували й інші планувальні рішення сільського житла. У південно-східних, у Львівській та Закарпатській областях застосовувалось планування з двома житловими приміщеннями типу «п'ятистінки», з прибудовою («прибик»), будинки міщан та маломаєтних у містечках та селах («домок»). На планувальну композицію сільського житлового будинку кінця XIX ст. істотно впливає прибудова до будинку приміщень для худоби (старе житло Карпат, у південно-західних районах Полісся та на півдні України).

У стародавніх типах гуцульського житла господарчі приміщення розміщали навкруги всього будинку, а перед його головним фасадом

улаштовували невеликий відкритий зверху, але закритий з боків дворик («гражда»). Замкнутий тип «гражди» відповідав кліматичним умовам та особливостям розселення. «Гражда» практично не має жодного зовнішнього вікна. Основний фасад житлового будинку орієнтований на південь. Перед хатою влаштована закрита знизу та перекрита зверху продовженням даху галерея-ганок. Житлове приміщення, сіні та комора розміщені в один ряд впродовж південного фасаду. З двох або трьох боків зазвичай оточені хлівами – «притулами» для овець. Інші господарчі побудови займають три інші боки внутрішнього двору. Декотрі «хати з граждою» мали два закритих двори: один чистий – «подвір'я », другий господарчий – «задвір'я». Впродовж дворової огороди тягнулись односкіли навіси. Внутрішній двір як елемент об'ємно-планувального рішення садиби спроможний зм'якшувати несприятливий вплив на людину надлишкової кількості палючих сонячних променів, раціонально використовувати помірні дози та компенсувати недостатню кількість сонячної радіації. Планувальна організація сільського житла зі закритими дворами застосовувалась також на півночі, північному сході України. В північно-західних та південних районах України господарчі приміщення, а на півдні літня кухня, як правило, прибудовуються до торцевої частини будинку, зверненої вглиб ділянки, додаючи йому поздовжньо-витягнену композицію.

Серед різноманітних рішень сільських житлових будинків у 50-70 роки ХХ ст. найбільше розповсюдження отримали п'ять типів планування (з них три є характерними для значної території України), які стали результатом подальшого розвитку та вдосконалення попередніх планувальних прийомів. Особливістю півдня та Закарпаття України є прибудована до основного входу в будинок простора засклена веранда, зв'язана з сіньми, перекрита легким навісом з виноградної лози, котра створювала тінь та прохолоду в жаркі дні, а в зимові дні вона діяла як тепловий шлюз.

Мансардні житлові дома були розповсюджені в Івано-Франківській, Закарпатській, Тернопільській, Чернівецькій та Львівській областях. Житлові приміщення у такому будинку зазвичай розміщуються в продовжному напрямку,

таким чином, щоб створити можливість для освітлення з торців двосхилого даху. При розміщенні в мансардному поверху трьох-чотирьох поверхових житлових приміщень два основні з них, які мали велику площину, робляться у продовжному напрямку, а інші – у поперечному та використовуються часто як веранда, передня або літні приміщення. Для освітлення житлових приміщень, поперечно розташованих, які виходять у бік схилу даху, потребується влаштування світлових ліхтарів. У практиці народного житла зустрічаються здвоєні мансардні житлові будинки, в яких мешкають дві родинні сім'ї, а також двоповерхові житлові будинки з по-поверховим розміщенням квартир, у яких мешкає декілька родинних сімей [23].

Зовнішні вхідні двері, що ведуть у сіні, влаштовувались з головного фасаду, який орієнтований на південь. У деяких районах Лівобережної України в старих типах житла із сіней іноді влаштовувались ще одні зовнішні двері («напільні» або «городні») у бік огорода або господарчого двору. Зовнішні двері, як правило, відчиняються усередину приміщення. Це пояснюється тим, що такі двері легко відкрити взимку під час сніжних заносів. Висота зовнішніх дверей у старих типах народного житла складала 1,6 – 1,7 метрів, ширина – 0,80 – 0,90 м, завдяки чому сіні менше охолоджувались, а, значить, і житлові приміщення під час відчинення дверей у холодний період року. Кліматичні умови також впливали на розміри дверних прорізів. У північних та гірських районах двері декілька нижче, ніж на півдні України, де клімат більш м'який та теплий.

Найбільш розповсюджені пропорції дверних прорізів для старих типів житла лісостепових районів складає 1:1,8 – 1:2, для північної частини України пропорції прорізу менше, а для південних – більше. Широко розповсюджена прямокутна форма дверей, а в Полтавській області в кінці XIX – початку XX ст. застосовувались дверні прорізи шестикутної форми (зі скошеними верхніми кутами). Більша ширина потужних брусків обв'язки (одвірків) надавала прорізу дверей монументальність. Для обробки «одвірків» використовувалась різьба, а з появленням наличника основним засобом обладнання є його профілювання.

Житлове приміщення будинку мало 3-4 вікна, з яких два, крім західних районів, обов'язково виходили на головний фасад («чоло») й одно або два – на боковий («причилок»). Таке розміщення вікон вироблювалось у результаті багаторічного практичного досвіду народних зодчих та обумовлено орієнтацією тих чи інших його частин. Для того, щоб житлове приміщення менше охолоджувалось взимку, на півночі України улаштовували одне вікно з торцевого фасаду, у лісостеповій смузі та на півдні України (у районах з більш теплим та м'яким кліматом) – два чи три вікна. Північний бік (найбільш холодний) у народному житлі не має вікон, за виключенням одного невеликого віконця, яке улаштовується на печі. У більшості районів України одне з вікон головного фасаду, яке знаходиться біля вхідних дверей, освітлює піч та робоче місце коло неї. Друге вікно з цього фасаду освітлює парадний кут житлового приміщення. У Львівській, Закарпатській, Тернопільській областях правобережної України на головному фасаді замість двох окремо розміщених вікон робилось одне, що мало великі розміри світлового прорізу. На Поділлі на головному фасаді роблять здвоєнні вікна. При улаштуванні одного вікна з торцевого фасаду в східних та центральних районах Полісся його роблять завжди ближче до головного фасаду, а потім освітлюють в основному парадний кут. У західних районах Полісся воно розташоване по осі фасаду, освітлюючи парадний та спальний кут.

У східних районах вікна мали зазвичай вертикально витягнуті пропорції, на Поділлі – квадратні, а на заході – горизонтальні витягнуті. Істотною різницею сучасних вікон від старих є значне збільшення їх розмірів, що призвело до збільшення світлових прорізів, а значить, до освітленості житлових приміщень, яка складає у всіх районах України 1:10 – 1:8. Висота вікон у будинках сільських мешканців залежить від висоти приміщень. Більша висота вікна при близьких до квадрату пропорціях стала причиною того, що на заході України вікна мають більшу площину світлового прорізу, ніж у інших районах. Тому для нормального освітлення однакових за площиною житлових приміщень тут роблять меншу кількість вікон у порівнянні з іншими районами. Створення нормальної

освітленості житлового приміщення при меншій кількості прорізів є більш зручним з точки зору доцільної організації інтер'єру.

Характерна особливість народного житла – улаштування віконниць, основним призначенням яких є захист житлових приміщень від зовнішніх температурних впливів. У холодні вітряні дні взимку віконниці захищають віконні прорізи від продування, а влітку, у жаркі дні – від перегріву приміщень сонячними променями. Найчастіше віконниці застосовувались у центральній та північній частині Лівобережної України, де звиси даху у протилежність західним районам роблять невеликими. Відомо, що великі за величиною звиси даху в народному житлі захищають стіну будинку та віконні прорізи від попадання прямих сонячних променів та перегріву приміщень у літній період. Старі типи ставень були одно-стулчастими, наприкінці XIX – початку XX ст. з'являються двох-стулчасті ставні. У вирішенні вікна поступово з'являються додаткові елементи, створюючи профіль каркасу карнизу (дошка, яка прибивалась зверху над наличником), збільшуються виноси карнизу. У східній частині України найбільша увага приділялась обробці вікон, а у західній частині – оформленню дверних прорізів [23].

У народному житлі ряду районів України влаштовували різні за величиною звиси даху в одному й тому ж будинку. Розвинений звис даху з боку головного фасаду мав назву «піддашок», з торцевої частини будинку – «причіпок». Розвинений звис даху, який влаштовували і з фасадної, і з торцевої боків одночасно або з трьох боків. Для старих типів житла (рублений будинок) є характерним звис даху на консолях, і для старого, і для сучасного житла застосовується розвинений звис на стовпцях («галерейках»).

Улаштування галерейок з боку головного фасаду є характерним для старого житла центральних районів Лівобережної України (Полтавська, Харківська, Луганська області) та гірських районів Карпат (Чернівецька, Івано-Франківська, Закарпатська, Львівська області). Загальним для усіх районів України є влаштування галерейки з південного фасаду, так як на південь завжди орієнтується південний фасад. У східних районах глибина виносу галерейки –

0,9 – 1,10 м, а у західних – 1,20 – 1,60. Галерейки у східних районах використовуються для господарчих цілей (для сушіння овочів та фруктів). Галерейка з виносом 0,9 – 1,10 метра при висоті стін, що склалася, у старих хатах – 2,50 – 2,80 м регулює попадання сонячних променів на стіну житлового будинку у різні періоди року. В літній період вранці та увечері, коли термічна дія сонячних променів ще незначна, всі промені попадають на пласкість стіни, орієнтованої на східні або рідше західні румби і таким чином інсолують житлові приміщення через віконні прорізи. Коли сонце в середині дня підіймається високо, теплова дія сонячних променів становиться значною, що призводить до перегріву стін та житлового приміщення. Розвинутий схил даху, створюючи тінь, тим самим захищає стіну від перегріву і не припускає попадання скрізь вікна прямих сонячних променів у житлове приміщення протягом дня. Таким чином, правильний винос даху при відповідній орієнтації приміщення захищає його у південь від перегріву і не заважає в ранкові години інсоляції. Взимку сонячні промені попадають у приміщення протягом цілого дня, сприяючи покращенню його теплового режиму. Винесення даху більше 1 м зазвичай влаштовується зі східного або західного боку житлового будинку, так як при цих орієнтаціях величина виносу не виявляє помітного впливу на освітленість фасадів сонячними променями внаслідок низького стояння Сонця.

Дослідженням виявлені характерні особливості та естетичні якості природного освітлення. Певний порядок розподілення яскравості у полі зору, що залишається «звичним» для людини, яка знаходиться в інтер'єрі. Верхня частина поля зору (небо) має зазвичай найбільшу яскравість, предмети на обрії характеризуються середньою яскравістю. Рівномірний розподіл освітленості (яскравості) на плоских поверхнях та нерівномірний – на криволінійних поверхнях. Таким чином, природне освітлення навчило людину оцінювати форму через розподіл яскравості. Рівномірна яскравість в інтер'єрі асоціюється з пласкістю, нерівномірна – з криволінійною поверхнею. Природне освітлення створюється спрямованим, розсіяним та віддзеркаленим світлом при різному їх співвідношенні в різних умовах. Контрастне освітлення в інтер'єрі з яскраво

вираженими тінями асоціюється з сонячним освітленням, а безтіньове – зі світлом похмурого дня. Спрямованість природного світла, завдяки чому архітектурний ритм супроводжується ритмом світлотіні (композиція грецького храму, багатоповерхові споруди). Спрямованість природного світла зверху. Будинок або інтер'єр, освітлений зверху, викликає почуття природності, освітлений знизу – незвичайності, театральності. Контрастність освітлення. Зір звик до контрастів, які створюються сонцем. На півночі звичні контрасти світлотіні у межах 0,3 – 0,4, на півдні – 0,7 – 0,8. Разом з яскравими контрастами змінюється і кольоровий контраст: колір від пастельних тонів на півночі переходить до насичених тонів – на півдні. Контраст, який створюється світлотінію, – це не тільки фактор видимості деталі, але, передусім, естетична категорія.

1.4 Аналіз методів розрахунку несної здатності циліндричних бетонних елементів в сталевій обіймі

Починаючи з ХХ століття початку ХХІ широке застосування як альтернатива бетонним, металевим та залізобетонним опорам отримують сталезалізобетонні опори. Одне з перших застосувань у будівництві сталобетон отримав в конструкціях мосту. Так, ще в 1919 році при відновленні опор моста через річку Дон Н.М. Абрамовим було запропоновано реалізувати ідеї А. Консідера і В.П. Некрасова, тобто використовувати заповнені бетоном сталеві труби великого діаметра в якості опор. У 1936р. під керівництвом академіка Г.П. Передерія був зведений міст прольотом 101м через річку Неву, із застосуванням великогабаритних пакетів з 40 труб діаметром 140×5мм [24, 25].

Однак, початком широкого розвитку трубобетонних конструкцій прийнято вважати появу так званої, монотрубною системи. У 40-х роках професором В.О. Росновским було запропоновано використовувати як конструктивний елемент мостів, одну тонкостінну сталеву трубу заповнену бетоном, в результаті чого автором були запроектовані і побудовані різні конструкції елементів мостів із застосуванням такого рішення.

Таким чином на протязі значного часу конструкції проміжних мостових опор постійно розвивалися. При цьому розширювався перелік матеріалів, які використовуються для виготовлення несних елементів мостових споруд. В результаті в наш час існує велика кількість різноманітних типів опор, як за матеріалом, так і за формою.

Успішний досвід застосування стовпчастих опор підтвердив їх високу економічну ефективність у порівнянні з масивними опорами. При влаштуванні стовпчастих опор потрібно в 2-4 рази менше бетону, витрати праці скорочуються в 2-3 рази, терміни робіт - в 1,5-2 рази, обсяг земляних робіт зменшується в 10-15 разів. При цьому сталева арматура в залізобетонні захищена від корозії. Але традиційні залізобетонні та сталеві конструкції мають суттєві недоліки. Один з

них – нераціональне використання бетону в розтягнутій зоні, де він фактично не працює. Серед відомих недоліків сталевих конструкцій – надзвичайно низька вогнестійкість і необхідність захисту і від корозії.

Досить виправданою альтернативою бетонним, залізобетонним та металевим є сталезалізобетонні мостові опори, які набули значного поширення в наш час. У цих конструкціях бетон і арматура працюють разом, при цьому арматура повністю сприймає розтягуючі зусилля, хоча її робота в стислій зоні також є ефективною.

Сталезалізобетонні конструкції поєднують в собі багато позитивних характеристик як залізобетонних, так і сталевих конструкцій: вони досить міцні, малогабаритні, володіють вогнестійкістю залізобетону.

Такі конструкції можуть використовуватися у всіх галузях будівництва. Найвигідніше використовувати сталезалізобетон в елементах, які несуть велике навантаження. Ефективними є сталезалізобетонні колони промислових і цивільних споруд, стислі елементи багатопрольотних арок і ферм, опори і прогонові будови мостів, стійки в будівлях рамної конструкції, в житлових та цивільних будівлях і т.д.

Одним з різновидів сталезалізобетонних конструкцій є трубобетонні. Використання трубобетонних конструкцій дозволяє: ефективно задіяти низькоміцний бетон; в 1,5-2 рази знизити витрату бетону, що в 1,8-3 рази знижує масу конструкції; а також удвічі економити витрати праці, в зв'язку з відсутністю арматурних, зварювальних робіт і робіт з установки і демонтажу опалубки. Трубобетонні конструкції (рис. 1.) володіють всіма перевагами металевих конструкцій в плані монтажу, відрізняючись при цьому, більш високою вогнестійкістю; такі конструкції витримують значно більші навантаження, в порівнянні зі звичайно армованими опорами. [26-29].

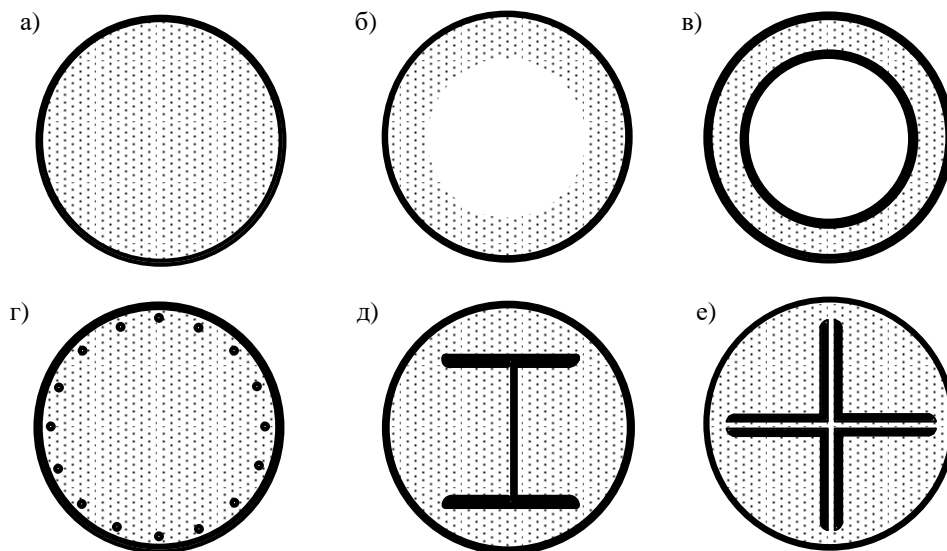


Рисунок 1. Перерізи круглих трубобетонних елементів:

а - бетонне ядро суцільного перетину; б - елемент з ядром з центрифугірованого бетону; в - елемент «труба в трубі»; г - елемент з ядром, армованим стрижневий поздовжньою арматурою; д, е - елемент з ядром, армованим прокатними профілями.

На рисунку 1, наведені різні варіанти поперечних перерізів круглих трубобетонних елементів [30-34], які досліджуються і використовуються в будівництві, як в Україні, так і за її межами.

До недоліків трубобетонних конструкцій слід віднести відносну дефіцитність металевих труб і дещо підвищені, порівняно з залізобетонними, експлуатаційні витрати по захисту поверхні від корозії.

Тому розглянемо ще одним з раціональних шляхів економії бетону і металу є непряме армування. Область застосування непрямої арматури досить широка і охоплює як стовпчасті опори мостів, палі і палі-оболонки так і каркаси промислових і цивільних будівель; арки і склепіння; елементи наскрізних ферм; опори станцій метрополітенів; гідротехнічні споруди і ін.

Перші конструктиви виконані із застосуванням непрямого армування представлені ще на початку минулого століття. Так в 1900р. М.Консідер запропонував конструктив з непрямым армуванням у вигляді спіральної обмотки, з метою створення бічного тиску; Н.М. Абрамов - звивисту арматуру

між поздовжніми стрижнями; в 1907р. В.П. Некрасов рекомендував застосовувати дротяні сітки а Р.Залігер - кільця-хомути (рис. 2).

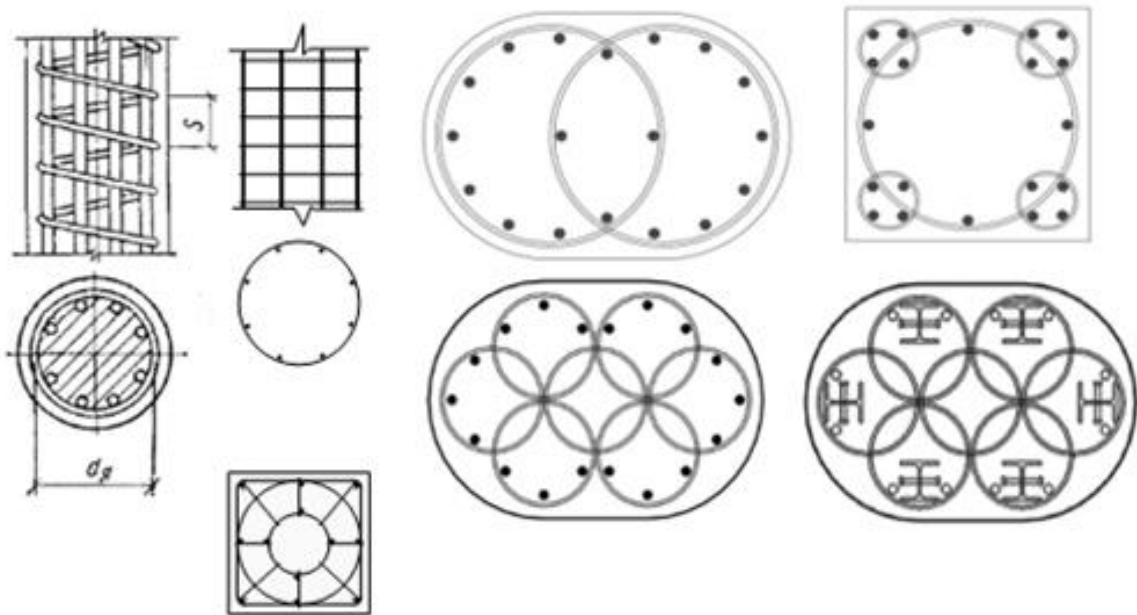


Рисунок 2. Деякі поперечні перерізи непрямого армування

В даний час за кордоном активно ведуться дослідження використання непрямого армування в мостобудуванні. Про що свідчать публікації такими авторами як W.J. Yi, P. Li [35], M.S. Saiidi [36,37], P. R. Paultre, [38], N. Krishnamara [39], A. H. Varma [40], Y.-S. Chung [41], Y. C. Ou [42] та ін.

Перевага непрямого армування полягає в підвищенні несної здатності, економії металу і бетону, що дозволяє збільшити навантаження на центральностиснутий залізобетонний елемент приблизно на 50% в порівнянні з навантаженням на армований тільки поздовжньою арматурою. Це в свою чергу дозволяє зменшити розміри поперечного перерізу.

Однак даний тип опор також має ряд недоліків - високу трудомісткість виготовлення конструкцій, а також велику деформативність конструкцій в поздовжньому напрямку. Дана обставина направила вчених до пошуку нових рішень, які увібравши в себе кращі якості непрямого армування, вели б до зменшення трудомісткості і деформативності. Одне з таких рішень було запропоновано Шмуклером В. С. [43] і отримало подальший розвиток в його

науковій школі. А саме використання в якості непрямого армування обойми просічено-витяжного листа (рис. 3).

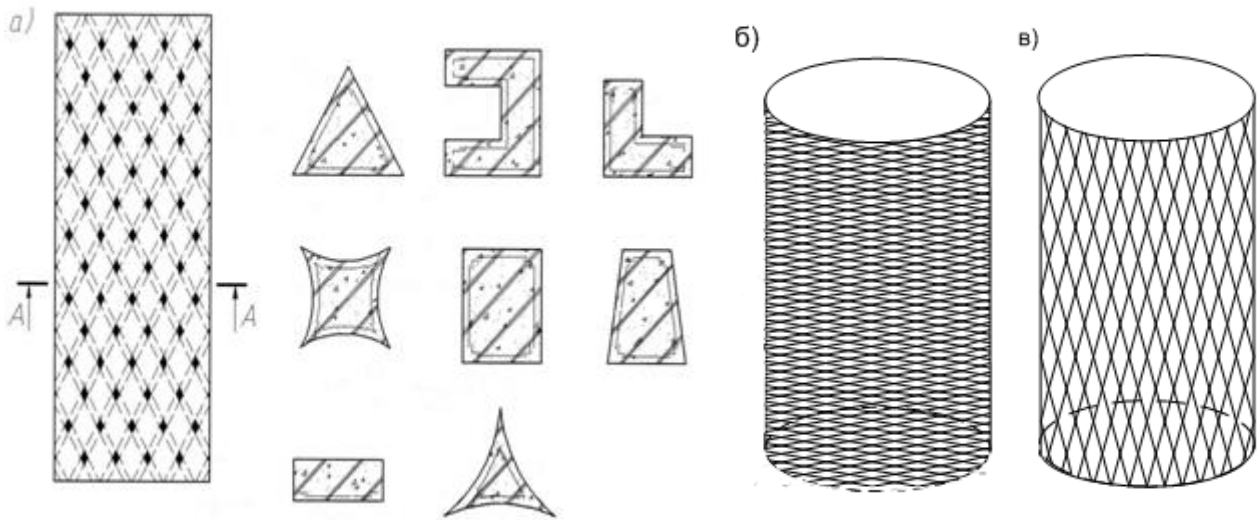


Рисунок 3. Використання в якості непрямого армування обойми просічено-витяжного листа:

а) обойма нового типа що запропонована Шмуклером В.С.;

б),в) обойма нового типа круглого поперечного перерізу, відповідно з повздовжнім та поперечним розташуванням чарунок відносно твірних

Таким чином актуальність подальшого дослідження сталезалізобетонного конструктиву підтверджується його перевагами в порівнянні з бетонними, залізобетонними та металевими конструктивами антологічних розмірів.

Одні з перших досліджень міцності трубобетону ще у 1932 році провів Г.П. Передерій [44]. Граничне навантаження, що сприймається бетоном, визначалось вченим як різниця між граничним навантаженням на трубобетонний зразок і навантаженням на порожню трубу, визначеним добутком границі текучості матеріалу труби на площу її поперечного перерізу та на коефіцієнт 2,2. Такий метод визначення міцності бетону в трубі не дозволяє простежити роботу бетону та сталі в трубобетонні на різних етапах навантаження. З дослідів зроблений висновок, що головну роль у міцності трубобетону грає метал, а міцність бетону в трубі приблизно дорівнює кубиковій.

У 1933 році О.О. Гвоздєв [45] провів дослідження серії трубобетонних

зразків, що відрізнялися середньою товщиною стінки в результаті проточки по зовнішній поверхні жолобків різної глибини та заповнених жорстким і пластичним бетонами. Дослідами встановлено, що на початку завантаження об'єм зразка зменшується, а наприкінці збільшується перевищуючи початковий. Не підтверджено, що на несну здатність зразків впливає якість бетону. Висловлено припущення, що оболонка на першому етапі завантаження працює в основному як поздовжня арматура, потім, випучуючись в сторони, бетонне ядро все сильніше тисне на трубу. При цьому частина осевого навантаження, що сприймається бетоном збільшується, а частина, що сприймається трубою зменшується. На останньому етапі оболонка працює як спіраль, забезпечуючи міцність бетону боковим тиском на нього. Автором прийнято передумову, що при досить великих навантаженнях в умовах усебічного стиснення бетон переходить у пластичний стан і починає деформуватися спільно з сталеву обіймою. Граничному навантаженню на зразок відповідає пластичний стан бетону й оболонки. Воно пов'язане з граничним опором оболонки в поперечному напрямку боковому тиску бетону й визначається при напруженнях, які відповідають стану плинності.

Розпочинаючи з 40-х років велику програму досліджень трубобетону провів В.А. Росновський [46]. Вважаючи теоретичні викладення О.О. Гвоздева вірними, В.А. Росновський не погоджується з його деякими передумовами, покладеними в основу при теоретичній розробці питання.

О.М. Алперіна [47] дослідила на зразках діаметром 630 мм і товщиною стінки труби 4 та 6 мм вплив масштабного фактора на міцність бетону в трубі. Також досліджено процес утворення тріщин у бетоні. Після зняття металеві оболонки обстеження поверхні ядра показало, що його руйнування починається з вертикально орієнтованої тріщини. У місцях виходу тріщин до поверхні спостерігалася місцева втрата стійкості стінкою труби.

Дослідами В.А. Росновського, А.Ф. Ліпатова й О.М. Алперіної встановлено, що граничному опору трубобетонних елементів передуює пластична деформація до 2% їхньої довжини, при цьому чим більша міцність бетону тим

менша деформація; міцність бетону в трубі значно перевищує призмову міцність, а саме відносне перевищення збільшується при зменшенні призмової міцності; якість сталі, розмір діаметра та товщина стінки труби не впливають на міцність бетону; граничне навантаження на трубобетонний елемент можна визначати як суму опорів ядра та оболонки, з огляду на трубу як поздовжню арматуру; товщина стінки труби, яка дорівнює одній стоп'ятидесятій частині діаметра, достатня для доведення бетону до пластичного стану.

Дослідження трубобетону були проведені О.А. Довженком [48,49]. Ним випробувано багато трубобетонних зразків різного діаметра та довжини з різними товщинами стінки труби й міцністю бетонного заповнення. Зроблено висновок, що на несну здатність трубобетону впливає як міцність бетону, так і якість і кількість металу. Найбільше підвищення несної здатності отримано при низьких марках бетону. В результаті досліджень деформацій усадки (у трубі це розбухання) в трубобетоні зроблено висновок, що усадка створює сприятливі умови для роботи елемента.

Також масштабні дослідження трубобетону проведені Р.С. Санжаровським [24]. За результатами досліджень зроблений висновок, що основною причиною підвищення міцності бетону в трубі є невелике бокове обтиснення його трубою плюс сприятливі умови твердіння. Висловлено припущення, що труба працює головним чином в поздовжньому напрямку, сприймаючи частину осевого навантаження, в той час як всі інші навантаження сприймаються бетонним ядром. Робота труби обмежується поздовжньою деформацією, що відповідає початку плинності сталі. Зроблено висновок про доцільність застосування тонкостінних труб, оскільки товщина оболонки мало впливає на величину поперечного обтиснення бетону, а отже і на міцність бетону в трубі.

Починаючи з 1964 року Л.І. Стороженко [28,29] проводяться широкі дослідження трубобетону. Проведені експериментальні дослідження підтвердили ефективність трубобетонних конструкцій та дозволили встановити закономірності їх роботи. У роботі [50] причина підвищеної міцності бетону в

трубі пояснюється особливістю його твердіння та виникненням у трубобетонному елементі при завантаженні об'ємного напруженого стану. На основі ґрунтовних експериментальних досліджень, математичного апарату, рішень теорії пружності і оптимальних передумов розроблено теорію, що узагальнює роботу трубобетону та надає можливість проводити оцінку напружено-деформованого стану, що виникає у таких конструкціях.

В.М. Сурдіним [51] проведено експериментально-теоретичні дослідження трубобетону при короткочасній та тривалій дії навантаження. Запропоновано проводити розрахунок несної здатності трубобетону на основі граничних значень поздовжніх деформацій, що обмежують нормальну експлуатацію конструкцій та метод для реалізації такого розрахунку. Широко досліджено реологічні процеси деформування та зміни напруженого стану трубобетону під завантаженням. Розглянуто явища усадки та повзучості бетону в трубобетоні, вплив різних факторів на характер та величину реологічних процесів.

Питання оптимізації трубобетонних елементів кільцевого перерізу розглянуті В.М.Спільчуком у роботі [52]. Автором запропоновано методи для підбору оптимальних характеристик трубобетонного елемента: інваріантний; варіантно-аналітичний; метод на основі удосконаленого симплекс-алгоритму.

Для представлення трубобетонного елемента у процесі оптимізації застосовано методику Л.І. Стороженко [28]. В якості параметрів, що підлягають оптимізації приймалися – зовнішній діаметр D , товщина стінки t , характеристика міцності оболонки R_s , призмova міцність бетону внутрішнього кільця R_b та товщина його стінки δ .

Експериментально досліджено роботу оголовків трубобетонних елементів В.Ф. Пенцом [53]. Було випробувано чотири типи підсилення оголовків трубобетонних елементів при різних способах передачі навантаження та геометричних параметрів самого елемента. Встановлено, що при збільшенні діаметра зразка ефективність роботи бетону в зоні оголовка зменшується.

Ґрунтовне дослідження труботетону проведене Л.К. Лукшою [54]. Прийняті передумови, що міцність бетонного ядра залежить від величини бокового обтиснення, а граничний стан труботетону при розрахунку на міцність – початок плинності оболонки. Розглянуто вплив відносної товщини стінки труби, розрахункового опору металу оболонки та призмової міцності бетону на величину бічного тиску. Зроблено висновок, що збільшення призмової міцності бетону підвищує боковий тиск за інших рівних умов, тому високоміцні бетони більш ефективні в труботетоні.

Дослідження А.П. Нестеровича [55] спрямовані на вивчення впливу масштабного фактора та коефіцієнта армування на міцність труботетонних елементів з діаметрами більшими ніж 500 мм. Виявлено дві схеми руйнування труботетону при осьовому стисненні. Руйнування елементів з невеликим діаметром (159 мм) і високим коефіцієнтом армування ($i = 0,14$) відбувається внаслідок роздроблення бетону й утворення гофрів по периметру обойми, що зумовлено втратою місцевої стійкості стінкою труби при значних осьових деформаціях. Руйнування елементів з великим діаметром відбувається в результаті утворення гофрів по діагоналі зразка з наступним зрізом бетонного ядра по похилому перерізу, що обумовлено втратою здатності оболонки сприймати зусилля зрізу, що виникають у бетонному ядрі. Встановлено, що ефективність роботи обойми залежить головним чином від масштабного фактора та коефіцієнта армування, що впливають на несну здатність труботетону незалежно один від одного. Зменшення коефіцієнта армування й діаметра елемента підвищують ефективність роботи труботетону.

Також дослідження труботетону проведені М. О' Shea та R. Bridge. У [56] вивчена робота тонкостінних труботетонних елементів заповнених високоміцним бетоном (114 МПа). Товщина стінки труби коливалась в межах від 1,15 мм до 3 мм при діаметрі 190 мм. В результаті дослідження авторам вдалось точно зафіксувати деформацію бетону при піковому навантаженні та його наступному швидкому розвантаженні. Встановлено, що в труботетонному елементі круглого поперечного перерізу ядро не перешкоджає місцевій втраті

стійкості труби. Також зафіксовано незначне утримання ядра трубою при сумісному завантаженні перерізу (бетону та сталі). Це явище, як відмічають автори, майже не впливає на роботу та міцність елемента й при розрахунку може не враховуватись. Але при завантаженні лише бетону виникають більші утримуючі сили, що можуть бути прийняті в розрахунок.

Е.Д Чихладзе та його учнями [57,58,59] проведені експериментальні дослідження трубобетонних елементів при осьовому стиску. Вивчався вплив способу прикладення навантаження на трубобетонний елемент, а саме «на бетон і сталь одночасно», «на бетон», «на сталь». По результатах проведених досліджень зроблено висновок, що при передачі «на бетон і сталь одночасно» руйнування зразків, відбувалося із-за випучування обойми в поперечному напрямку з утворенням 2-3 складок по довжині. При передачі навантаження «на бетон» руйнування зразків відбувалося із-за розриву обойми по шву або від надмірних відносних поздовжніх деформацій в бетоні. А при передачі навантаження «на сталь» руйнування характеризувалися випучуванням труб в поперечному напрямку, при цьому труби заповнені бетоном та пусті показали практично однакову несну здатність.

Експериментальні дослідження конструктивних елементів з непрямым армуванням у вигляді спіралі і радіальних кілець виконані Г.П. Передерієм, Н.М. Абрамовим, В.П. Некрасовим, А.С. Курило, В. І. Карпинським і ін. Наприклад, випробування зразків з непрямым армуванням у вигляді кілець і радіальних стрижнів О.Ф. Виноградової показали, що захисний шар бетону зберігався цілим до досягнення граничного навантаження; характер руйнування зразків був крихкий - миттєвий.

З усього вище сказаного відмітимо, що перші передумови про роботу сталеві труби, заповненої бетоном, які однак суперечать один одному запропоновані на підставі проведених дослідів, О.О. Гвоздевим і В.А. Росновським [46,60] (рис. 4).

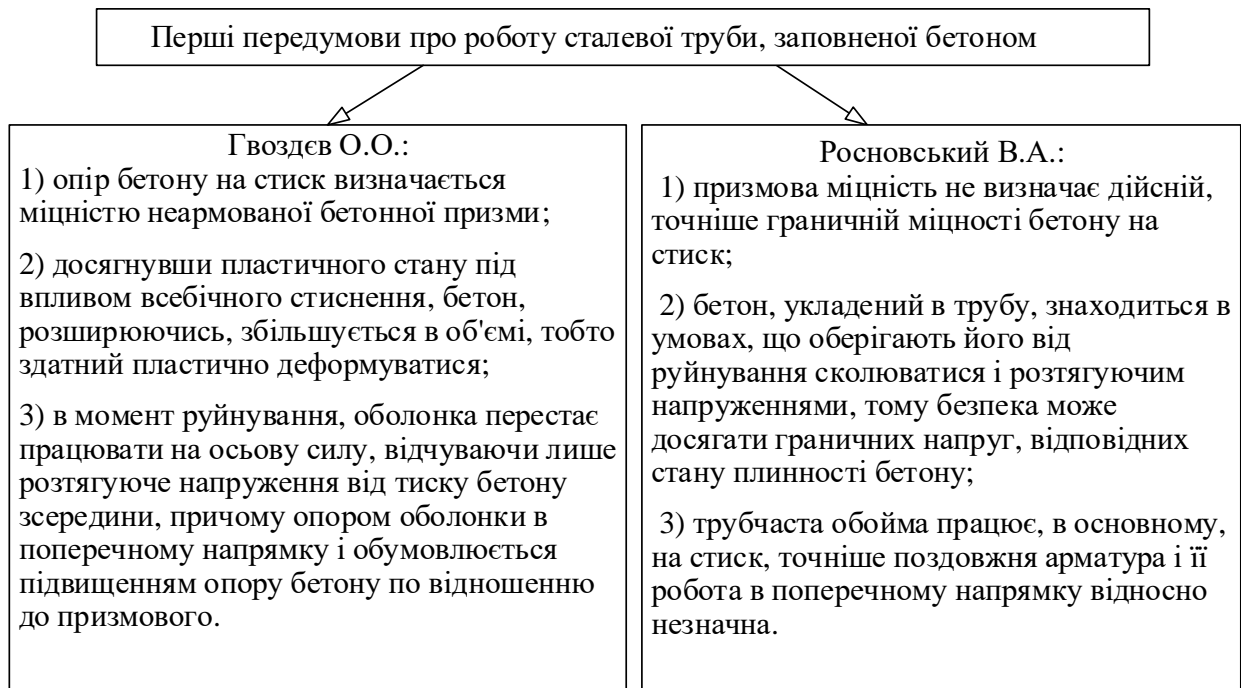


Рисунок 4. Протиріччя перших передумов роботи трубобетонних несних конструктивів

На підставі даних передумов О.О. Гвоздєв [60,61] дійшов висновку, що руйнівне навантаження відповідає пластичному стану обох матеріалів і розрахунок бетону в трубі повинен проводитися виходячи зі стадії руйнування. В результаті початкових теоретичних і експериментальних досліджень роботи стиснутих в центрі трубобетонних конструктивів різними авторами були запропоновані відмінні один від одного формули для визначення руйнівного навантаження (рис.5).

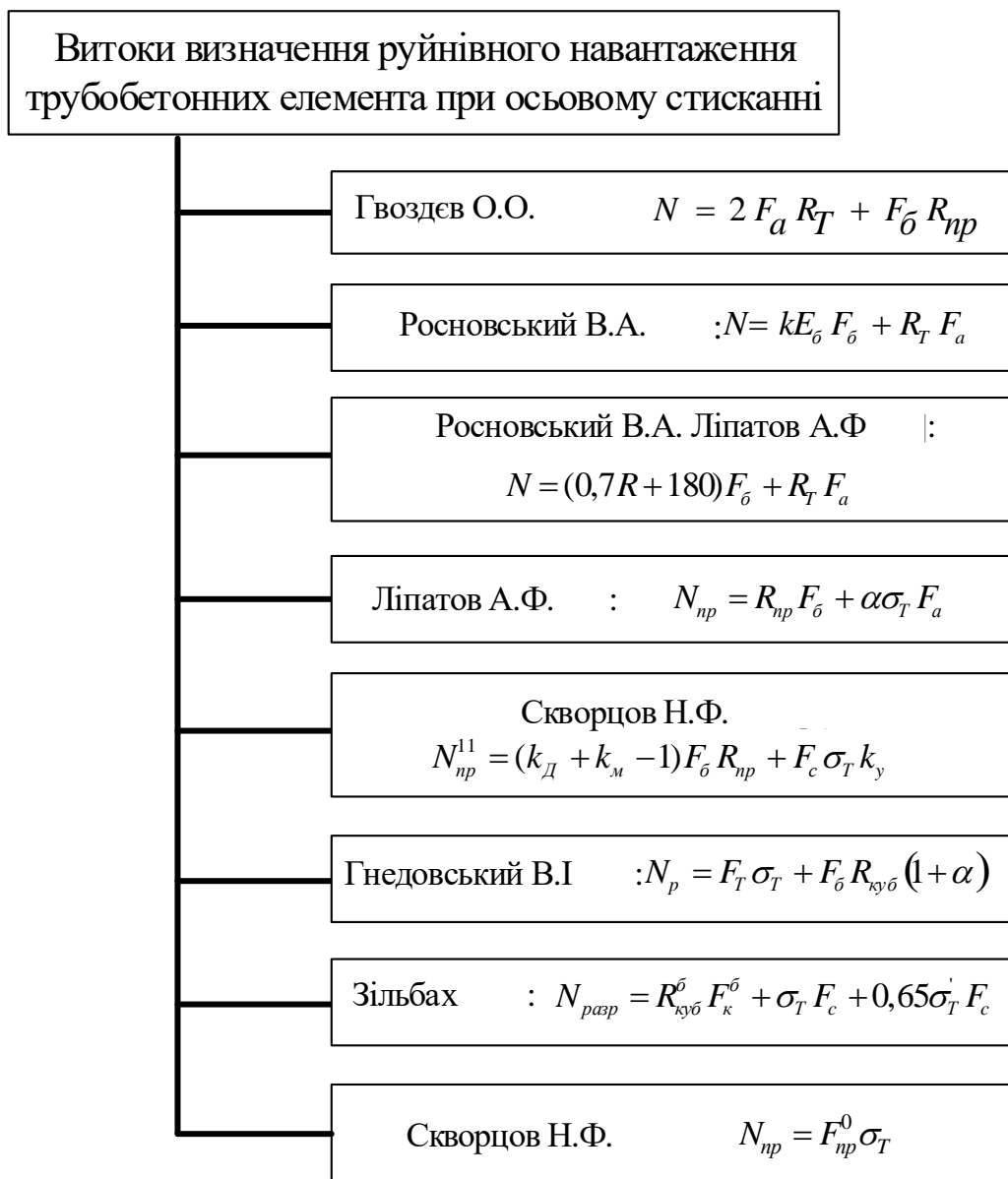


Рисунок 5. Перші формули визначення руйнівного навантаження:

де F_a, F_c – площа перерізу труби; R_T – напруження, відповідне межі текучості метала; F_{σ} – площа перерізу бетонного ядра; R_{np} – призмova міцність бетону; k – постійний коефіцієнт, отриманий з досвіду; E_{σ} – початковий модуль деформації 1-го роду для бетону; R, R_{κ}^{σ} – кубикова міцність бетону; α – коефіцієнт в межах від 1,40 до 4,65, в залежності від бокової дії стінок труб на бетонне ядро; σ_T – межа текучості труби; k_D і k_M – масштабні коефіцієнти впливу, відповідно довжини і поперечних розмірів (в межах від 1,85 до 3,5), які визначаються за відповідними графіками; k_y – коефіцієнт досвідчений для визначення критичного напруження порожніх товстостінних труб, який дорівнює $k_y = 0,765$ при величині діаметрів труб від 40δ до 100δ ; $\alpha = k \sigma_3 / R_p^H$ – коефіцієнт по Бергу, визначений дослідницьким шляхом в формулі В.І. Гнедовського; σ_3 – напруження бетону на відрив в граничному стані; σ_T' – межа текучості металу повздовж труби; F_{np}^0 – інтегральна площа перерізу елемента, приведена до матеріалу труби.

Автор вважає, що в трубах заповнених бетоном, стійкість стінок підвищується і знаходиться між $\sigma_{кр}$, визначеними як $0,765\sigma_B$, і σ_B . Критичне напруження для них з достатньою точністю може бути визначена за формулою:

$$\sigma_{кр} = \frac{1+0,765}{2} \sigma_B \cong 0,90\sigma_B$$

З графіка залежності міцності бетону в трубі від величини її діаметру випливає, що міцність бетону в трубі, як і його кубікова міцність, зростає по мірі зменшення діаметра труби, а також спростовується точка зору проф. В.А. Росновского [46] про те, що міцність бетонного ядра, укладеного в трубу, не залежить від поперечних розмірів ядра.

Дослідами О.Я. Берга [62] встановлено, що при осьовому стисненні бетону до напружень границі опору відриву й утворення перших мікротріщин, подовжня деформація складається з пружної та пластичної частин. Приріст поперечних деформацій поступово збільшується й на границі тріщиноутворення R_{Tp} досягає половини величини приросту подовжніх деформацій. До моменту вичерпання призмової міцності бетону переборюється його опір розтягу в поперечному напрямку. Таким чином, при зростанні напружень від R_{Tp} до R_{np} відбувається розкриття мікротріщин, які з'єднуючись утворюють магістральну тріщину, що розколює зразок у подовжньому напрямку.

Відповідно до гіпотези відриву при об'ємному стисненні вплив відновлюючих сил у зразку настільки великий, що теоретично бетон не повинен руйнуватися. Проте руйнування все-таки відбувається внаслідок зсуву, ковзання окремих частин бетону по похилих площадках. Таким чином рівняння міцності О.Я. Берга при об'ємному напруженому стані має вигляд

$$\frac{\sigma}{R_{np}} = 1 + \frac{K\sigma_3}{R_p},$$

де R_p – опір бетону відриву.

Якщо руйнування зразка при об'ємному напруженому стані відбувається при напруженнях, що перевищують значення R_{np} на величину $R_{np} - R_p = KR_{np}$,

коефіцієнт $K = 1 - R_{Tp}/R_{np}$. Він залежить від міцності бетону і коливається в межах 0,3...0,26.

Таким чином формули представлені на Рисунку 5 мають значні розбіжності теоретичних передумов та гіпотез і не можуть бути використані при проектуванні і будівництві трубобетонних конструкцій, без додаткового дослідження и порівняння. При цьому вони є основою для подальшого вивчення цього сталобетонного конструктиву.

Запропонована В.М. Фоновим і І.Г. Людковським методика розрахунку трубобетонних конструктивів по міцності [63], дозволяє досить точно оцінити несну здатність трубобетонна. Руйнування трубобетонних елементів по похилому перерізі обумовлено невеликим реактивним впливом обойми, котра не здатна протидіяти зсуву. Для оцінки несної здатності трубобетонну доцільно використовувати метод, в основу якого покладено для бетону умова міцності Консідера, для металу умова пластичності Генки-Мізеса:

$$P_{u,d} = P_{bn} A_b + \alpha \sigma_{y,st} A_{st},$$

$$\alpha = \sqrt{1 + (K - 1)^2 / 3},$$

де A_b, A_{st} – відповідно площа поперечного перерізу бетону і сталі; $\sigma_{y,st}$ – межа текучості сталі; K – коефіцієнт ефективності обтиску бетону обоймою:

$$K = 4,8D^{-0,18} (0,03\mu^{-0,72} + 1),$$

Однак цю формулу можна використовувати для визначення K в обмежених інтервалах зміни геометричних і міцних параметрів:

$$0,01 \leq \mu \leq 0,14$$

$$100\text{мм} \leq D \leq 1220\text{мм}$$

$$B20 \leq B \leq B60$$

А.Ф. Мілованов пропонує оцінювати несну здатність залізобетонної колони, попередньо оцінивши несне ядро перерізу. Ця оцінка проводиться за емпіричною формулою.

Знаючи, розрахункові опори бетону та сталі, їх коефіцієнти умов роботи, виконують розрахунок несної здатності колони за формулою

$$N_u = a(R_b \sum \gamma_{bi} A_i + R_s \gamma_s A_s).$$

Граничне навантаження при стисненні визначається як сума зусиль, які сприймаються бетоном і оболонкою:

$$N_u = N_b + N_s,$$

$$N_b = \int_0^R \sigma 2\pi r dr,$$

У роботах Е.Д. Чихладзе та його учнів [57,58,64] несуча здатність трубобетонних елементів визначається за формулою:

$$\bar{N} = \sum_{n=1}^{\beta} \bar{\sigma}_{b1n} A_{bn} + \sum_{m=1}^{\gamma} \sigma_{s1m} A_{sm},$$

де β – число елементів бетонного ядра; γ – число елементів обійми; A_{b1n} , A_{s1m} – відповідно площі поперечного перерізу бетону і сталі.

Граничні поздовжні напруження $\bar{\sigma}_{b1}$ в бетонному ядрі обчислюються з використанням критерію граничного стану, а в сталевому листі $\bar{\sigma}_{s1}$ – енергетичного критерію пластичності Мізеса:

$$\bar{\sigma}_{s1} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{1 + \eta_s^2} - \eta_s},$$

де η_s – відношення поперечних напруг σ_{s2} до поздовжніх σ_{s1} .

Залежність між напруженням і деформаціями в бетоні для випадку простого навантаження прийнята автором у формі закону Гука.

При цьому параметри деформування (\tilde{E} – січний модуль деформацій бетону при стисканні (розтягуванні) і коефіцієнт поперечних деформацій $\bar{\mu}$) залежать від стадії напруженого стану:

$$E(\sigma_o, S_1) = \frac{9K(\sigma_o, S_1)G(S_1)}{G(S_1) + 3K(\sigma_o, S_1)};$$

$$\bar{\mu}(\sigma_o, S_1) = \frac{3K(\sigma_o, S_1) - G(S_1)}{2[G(S_1) + 3K(\sigma_o, S_1)]},$$

де σ_o – середнє напруження; $K(\sigma_o, S_1)$ – січний модуль відносних об'ємних змін бетону; $G(S_1)$ – січний модуль зсуву.

В.А. Катаєв [65] вважає, що матеріал зовнішньої металевої оболонки знаходиться в плоскому напруженому стані, що також підтверджується даними [24,28,66]. Найбільше зусилля обтиску бетону при збереженні його цілісності можуть виникнути, коли деформації труби ще не досягли межі текучості, а поперечні деформації бетонного ядра максимальні. При цьому особливості роботи труботбетону залежать від співвідношення міцності матеріалів бетонного ядра і металевої оболонки, і від геометричних характеристик оболонки.

Несна здатність при досягненні прийнятого граничного стану визначається за формулою:

$$N \leq A_s \sigma_{s,z} + A_g \sigma_{g,z},$$

де $\sigma_{s,z}$ і $\sigma_{g,z}$ – напруження в сталевій трубі і бетонному ядрі, яке визначається за формулами:

$$\text{для металевої труби } \sigma_{s,z} = \left[E_s - \frac{2\nu_s (\nu_g - \nu_s) r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2) d} \right] \epsilon_z;$$

$$\text{для бетону } \sigma_{g,z} = \left[E'_g + \frac{2\nu_g (\nu_g - \nu_s)}{d} \right] \epsilon_z;$$

$$\text{де } d = \frac{1 + \nu_s}{(r_2^2 - r_1^2) E_s} [r_1^2 (1 - 2\nu_s) + r_2^2] + \frac{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)}{E'_g}.$$

Дослідження сталобетонних колон наведені також в роботах Л.І. Стороженко [28,67,68]. Так, для розрахунку труботбетонних елементів при центральному стиску була запропонована формула:

$$N \leq m_{T\sigma} \varphi_{T\sigma} (\beta R_{np} F'_g + \alpha R_m F_m),$$

де $m_{T\sigma}$ – коефіцієнт умов роботи елемента; $\varphi_{T\sigma}$ – коефіцієнт, що враховує гнучкість; β і α – коефіцієнти ефективності роботи бетону і труби, які визначаються за формулами або таблицями, в залежності від класу бетону і товщини стінки труби.

У роботі Л.К. Лукші [69, 70] наводиться розрахунковий апарат, в якому основним критерієм міцності при осьовому стиску труботбетонних елемента є залежність:

$$N_{se} \leq \sum_i \sigma_i A_i,$$

де N_{se} – поздовжня стискаюча сила в елементі від зовнішнього навантаження;
 $\sigma_i A_i$ – несна здатність окремих прошарків поперечного перерізу; $i = 1, 2, 3, \dots$ –
номер шару елемента; A_i – площа поперечного перерізу i -го шару; σ_i – міцність
матеріалу i -го шару при складному напруженому стані, що залежить від виду
матеріалу і його взаємодії з матеріалами інших прошарків.

Несна спроможність негнучкого двошарового сталобетонного елемента
за умови, що бетонне ядро знаходиться в стані трьохосьового стиску,
визначається автором [70] за формулою:

$$N_{sc} \geq (f_c + K\sigma_o)A_c + \sigma_{se}A_{se},$$

залежність для визначення бічного тиску має вигляд:

$$\sigma_o = (f_{ye} + \alpha_c f_c) \left[1 - \beta^{\frac{\xi}{1+\nu_s}} \right] / \xi;$$

$$\alpha_c = E_s / E_c; \beta_s = d_{se} / d_{si},$$

де A_c, A_{se} – площі поперечних перерізів бетонного ядра і зовнішньої сталевий
труби; $\xi = \alpha_c (K - 2\nu_c) - 1$; $\nu_s = \nu_c = 0,5$ – значення коефіцієнтів Пуассона
бетону і сталі в граничному стані елемента; f_{ye}, f_c – нормативний або
розрахунковий опір сталі зовнішньої труби і бетонного ядра; d_{se}, d_{si} –
відповідно зовнішній і внутрішній діаметр труби.

Міцність зовнішньої сталевий труби буде:

$$\sigma_{se} = f_{ye} - \sigma_o \beta_{se} / (\beta_{se} - 1),$$

Значення коефіцієнта ефективності бічного тиску для бетону в
дослідженнях інших авторів (Р. Залігер, Річаст, М. Консідер, О. О. Гвоздэв)
коливалися в межах від 4 до 5. Автором [70] даний коефіцієнт в першому
наближенні приймається постійним і рівним $K = 4$. У другому наближенні
обчислюється за гіперболічною формулою:

$$K = 10 - \frac{100\sigma_o}{f_c + 15\sigma_o},$$

У роботі Ю.В.Зайцева [71] запропонована теоретична модель, яка
дозволяє диференційовано враховувати довготривалий опір бетону руйнуванню

з врахуванням його фізико-механічних властивостей. Механізм довготривалого руйнування внаслідок повзучості матеріалу представлений ростом тріщин навколо ідеалізованих круглих пор, рівномірно розподілених у однорідній і ізотропній масі. Показано, що у випадку об'ємного стиску $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ коефіцієнт інтенсивності бокового тиску K змінюється в широких межах. При малому боковому тиску, коли руйнування відбувається внаслідок відриву величина K значно перевищує традиційне $K = 4$.

При більш високому боковому тиску, коли руйнування здобуває переважно зсувний характер, значення K зменшується, наближаючись до 4.

Згідно з єврокоду 4 (частина 2) [34,72] для труб круглого перерізу, заповнених бетоном, підвищення міцності бетону враховується за рахунок його обмеження (укладення в об'єму). За умови, що відносна гнучкість $\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pl,Rk}/N_{cr}}$ не перевищує $0,5 < e/d < 0,1$, а коефіцієнт вкладу сталі становить

$$0,2 \leq \delta = \frac{A_a f_{yd}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,9,$$

де: e – ексцентриситет навантаження, d – зовнішній діаметр стійки, $N_{pl,Rk}$ – характеристичне значення пластичного опору стисненню, N_{cr} – пружна критична нормальна сила для відповідної форми втрати стійкості; $N_{pl,Rd}$ – опір пластичної деформації при стисканні сталезалізобетонного перерізу; A_a – площа поперечного перерізу сталеві частини; f_{yd} – розрахункове значення умовної межі текучості сталі.

Пластичний опір стисненню визначається з урахуванням вищевикладеного [72] за наступним виразом:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{yd} \cdot \left(1 + \eta_c \cdot \frac{t}{d} \cdot \frac{f_y}{f_{ck}} \right) + A_s f_{sd} ,)$$

де t – товщина стінки сталеві труби; A_c , A_a – площа поперечного перерізу бетону і арматури; f_{cd} , f_{ck} – розрахункове і характеристичне значення

циліндричної міцності бетону на стиск; η_c – коефіцієнт, що стосується обмеження для бетону; f_y, f_{sd} – нормальне і розрахункове значення умовної межі текучості конструкційної сталі.

Повне повздовжнє зусилля в короткому центрально стиснутому трубобетонному елементі А.Л Крішаном та його учнями [73] налюбій стадії їх роботи пропонується визначати, як суму вкладів компонентів системи «бетонне ядро – стальна оболонка»

$$N = (R_b + k\sigma_{br})A_b + \left(\frac{A_s}{6} - A_b\right)\sigma_{br} + \\ + \sqrt{(R_s A_s)^2 - \left(3A_b^2 - \frac{1}{3}A_b A_s + \frac{A_s^2}{12}\right)\sigma_{br}^2},$$

де N – повне повздовжнє зусилля в короткому центрально стиснутому трубобетонному елементі; R_b і R_s – розрахунковий опір осьовому стиску бетону і сталі; k – коефіцієнт бокового тиску (КБТ), прийнятий тут постійним і рівним 4; σ_{br} – боковий тиск по поверхні контакту труби з бетоном; A_b і A_s – площі поперечних перерізів бетонного ядра і оболонки зі сталі.

Остаточний вираз для визначення руйнуючого навантаження короткого центрально стиснутого трубо бетонного елемента має вигляд:

$$N = (R_b + k\sigma_{br})A_b + \alpha_s R_s A_s.$$

Таким чином, цей вираз має більш повніше враховувати особливості напруженого стану трубо бетонного елемента. Причому варто також зазначити, що в залежності від конструктивних геометричних параметрів величина коефіцієнта α_s в формулі може змінюватися в достатньо широкому діапазоні, але частіше знаходиться в інтервалі від 0,1 до 0,5.

Ще один напрямок дослідження трубобетону базується на припущенні, що несуча здатність трубобетонного елемента обумовлюється міцністю ядра [69], а роль труби зводиться до створення реактивного бокового тиску. В даному випадку передбачається, що труба не чинить опір в осьовому напрямку. Розрахункова формула В.Ф. Мареніна має вигляд:

$$N_{т.б} = F_6 R_{np} \sqrt{1 + 2\beta k \frac{\sigma_T \delta}{R_p r} + (\beta^2 k^2 - \frac{2}{C_1^2}) (\frac{\sigma_T \delta}{R_p r})^2}$$

де k – коефіцієнт із теорії міцності О.Я. Берга, що залежить від рівня мікротріщинутворення: $k = 1 - \frac{R_T}{R_{np}}$; β – коефіцієнт впливу обойми, який залежить від марки бетону: $\beta = 0,65 + 0,002R_{np}$; C_1 – коефіцієнт залежний від

марки бетону: $C_1 = \frac{R_{np}}{R_p}$; R_T – напруження в одноосностиснутому бетоні при утворенні перших тріщин; r – середній радіус сталеві оболонки.

Потрібно також згадати цікаву по структурі формулу, запропоновану в 1930 р. Меллером [24]:

$$N_{(m.б)} = R_{np} F_6 + \sigma_m F_m + 0,65 \sigma'_m F_m,$$

де σ_T, σ'_T – межа текучості оболонки в осьовому і тангенціальному напрямку.

У своїй роботі по розрахунку міцності центрально-стиснутих трубобетонних елементів І.В. Резван [74] запропонував формулу визначення міцності при центральному стисненні:

$$N = (1 + 5 \frac{\beta_p}{m} - 1,25 (\frac{\beta_p}{m})^2) R_b A_b + \alpha R_c A_c.$$

Автором зазначається, що формулу міцності трубобетонних елементів можна записати в спрощеному вигляді, емпірично визначивши рівень повздовжнього напруження сталеві оболонки, статистично обробивши данні багаточисельних досліджень.

В той же час згідно з с EN 1994-1-1 [75] без врахування наведеної гнучкості елемента:

$$N = R_b \left(1 + 4,9 \frac{t R_c}{D R_b} \right) A_b + 0,75 R_c A_c.$$

Також дослідження методів розрахунку трубобетонних елементів на дію осьового стискаючого навантаження ведуться закордоном.

«Уніфікований китайський» метод, запропонований китайськими вченими Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting L i[76] для розрахунку міцності і стійкості трубобетонних елементів.

У цьому методі визначаються величини несної здатності при стисненні трубобетонних елементів за міцністю N_0 і стійкості $N_{уст}$. Причому цей підхід можна застосувати не тільки до трубобетонних елементів круглого поперечного перерізу, але і до елементів з полігональним перерізом, в тому числі і прямокутним.

Відповідно до цього методу несна здатність по міцності при осьовому стисненні визначається з виразу:

$$N_0 = (1 + \eta)(f_y A_s + f_c A_{ck}),$$

де: η – коефіцієнт збільшення міцності за рахунок стиснення бетону в трубі, що залежить від кількості граней в трубі n , властивостей матеріалів, а також коефіцієнта суцільності ψ (для випадку не суцільних трубобетонних елементів).

При використанні формули $N_0 = (1 + \eta)(f_y A_s + f_c A_{ck})$ для розрахунку круглих трубобетонних елементів коефіцієнт η приймається рівним 0.

Відзначимо, що паралельно з дослідженнями несної здатності і особливостей роботи трубобетонних конструктивів активно ведуться теоретичні та експериментальні дослідження конструктивів з непрямым армуванням [77]. Так, ще в 1928 р Р. Залігер запропонував формулу для визначення допустимої навантаження N на елемент:

$$N = (F_{я} + 15F_e + 45F_n) \sigma_b,$$

де $F_{я}$ – площа бетонного ядра; F_e – площа перерізу повздовжньої арматури; $F_n = \pi d_{я}^2 f / g$ – площа поперечного перерізу фіктивної повздовжньої арматури; $d_{я}$ – діаметр ядра; f – площа перерізу арматури спіралі; g – крок сіток або спіралі; σ_b – тимчасовий опір бетону.

Розрахунок елементів з непрямым армуванням сітками з кільцями і радіальних стрижнів запропонований О.Ф. Виноградовою [78] по стадії руйнування:

$$N_p = F_{\sigma} R_{np}^H (1 + \alpha) + F_{a.c} R_a^H,$$

де F_{σ} – площа поперечного перерізу; R_{np}^H – призматична (нормативна) міцність бетону; $F_{a.c}$ – площа перерізу поздовжньої арматури; R_a^H – нормальний опір арматури (межа текучості); α – коефіцієнт по Бергу, аналогічно трубобетонному конструктиву.

Теоретичними дослідженнями А.Л. Крішана [73] була визначена формула для знаходження в центральних стиснутих залізобетонних елементах з непрямым армуванням, при умові що в усіх точках створюється рівномірний боковий тиск. З якої, граничне напруження σ_{bzu} можливо знайти за формулою:

$$\sigma_{bzu} = R_{bu} + k\sigma_{bxu},$$

де R_{bu} – міцність бетону при одноосевому стисненні; σ_{bxu} – головне стискаюче напруження; k – коефіцієнт бокового тиску, що залежить від рівня бокового бокового обтиску $m = \frac{\sigma_{bxu}}{\sigma_{bzu}}$ і визначається за формулою:

$$k = \frac{1 + a - am}{b + (1 - b)m},$$

де a і b – коефіцієнти матеріалу, що визначаються із дослідів (для важкого бетону середнє k відповідає $b=0.096$, а нижня границя цих значень – $b=0.118$; при цьому $a=0.5b$).

На думку В.І. Гнедовського [78], за допомогою цієї формули можна проводити розрахунок елементів з поздовжньою і спіральною арматурою, аналогічно конструктиву з сітками.

Випробуваннями непрямого армування активно займаються і за кордоном, наприклад [35-37, 39, 41, 42]. Найбільшого поширення тут отримали конструктивні елементи зі спіральним армуванням. Цей спосіб армування є ефективним, проте складним і трудомістким при виготовленні. Тому необхідна раціоналізація цього конструктиву, що дасть можливість спростити складний технологічний процес. Представлений аналіз існуючих методик теоретичних досліджень різних авторів показав, істотні розбіжності, передумов роботи при стисненні, як в цілому циліндричного несного сталобетонного елемента, так і

його складових у вигляді бетонного ядра і сталеві обійми окремо. Внаслідок чого, має місце існування великої кількості різних методик розрахунку несучої здатності сталобетонного циліндричного стисненого елемента, які мають значні розбіжності, як між собою, так і з експериментальними даними (табл. 1.).

Дані наведені в табл.1. підтверджують актуальність проведення додаткових теоретичних досліджень сталобетонних несних елементів із суцільною обіймою. Паралельно з конструктивами із суцільною обіймою, в перелік теоретичних досліджень несної здатності включені нові конструкції у вигляді сталобетонних циліндричних несучих елементів з сітчастою обіймою (обійма виконана з просічено-витяжного листа).

Таблиця 1.

Порівняння теоретичних даних різних авторів.

Автори теоретичного розрахунку	Стороженко Л.І	Крішан А.Л.	Людковський І.Г. Нестерович А.П.	Лукша Л.К.	Кікін А.І. Саржановский Р.С.	Росновський В.А.	Гвоздєв О.О.
відхилення $\sim \varepsilon$, %, від експериментальних даних	6,58	5,21	7,08	2,90	3,40	12,78	16,6

В результаті проведеного аналізу запропоновано гіпотези даних теоретичних розрахунків [79-81]:

- сталеві обійми сталобетонного циліндричного несучого елемента працює одночасно як, поперечне армування, до досягнення металом напруження рівного характеристичними значеннями межі текучості (f_{yk}), і як поздовжнє армування, до досягнення напруження, що дорівнює характеристичним значенням межі міцності (f_{tk});

- бетонне ядро поміщене, як в суцільну, так і сітчасту сталеву обійму знаходиться в умовах об'ємного напруженого стану, за рахунок спільності роботи ядра і обійми, а також дії бічного радіального тиску поперечного армування на бетонне ядро.

Для виконання наведених нижче теоретичних досліджень були введені такі передумови:

- геометричні розміри об'єкта дослідження вибиралися таким чином, щоб виключити втрату стійкості;
- спільність роботи бетонного ядра і сталевий обійми забезпечена аж до втрати несної здатності сталебетонного несного елемента в цілому;
- сталебетонний несний елемент відчуває відцентровий стиск з малими ексцентриситетами, впливом яких в ході розрахунків нехтуємо;
- зовнішнє осьове стискаюче зусилля діє тільки на бетонне ядро, в такому випадку сталевий обійма ефективніше працює, як поперечне армування, перешкоджаючи поперечним деформаціям розширенню бетонного ядра, укладеного в обійму.

Розрахунок несної здатності сталебетонного циліндричного несного елемента при осьовому навантаженні, враховуючи наведений аналіз існуючих передумов і методів розрахунку, а також гіпотез і передумов, реалізований із застосуванням принципу суперпозиції, тобто несна здатність бетонного ядра і сталевий обійми розглянуті, як дві незалежні складові, що працюють самостійно, без урахування спільності роботи;

При цьому, для врахування підвищеної несної здатності за рахунок обтиску бетонного ядра обіймою приймаємо наступне:

- бетонне ядро, укладене в сталевий обійму відчуває об'ємний напружений стан, тобто трьохосьове стиснення. Причому величина радіальних напружень бетонного ядра, при втраті несної здатності сталебетонного елемента, дорівнює величині бічного опору сталевий обійми поперечних деформацій бетонного ядра, від дії осьового стискаючого зусилля (рис. 6). При цьому вважаємо, що максимальне напруження розтягу сталевий обійми в поперечному напрямку не перевищує характеристичного значення міцності сталі на кордоні текучості (f_{yk});
- величина бічного тиску сталевий обійми на бетонне ядро дорівнює величині бічного опору сталевий обійми, поперечним деформаціям бетонного

ядра від дії осевого стискуючого зусилля, і залежить від співвідношення товщини стінки обойми (δ) і радіусу сталобетонного елемента (R) [80,83]. У цьому випадку, радіальні стискуючі напруження, що сприймаються бетонним ядром, рівні:

$$\sigma_{b,r} = \frac{\delta \cdot f_{yk}}{R},$$

де $\sigma_{b,r}$ – величина радіального стискуючого напруження в бетонному ядрі.

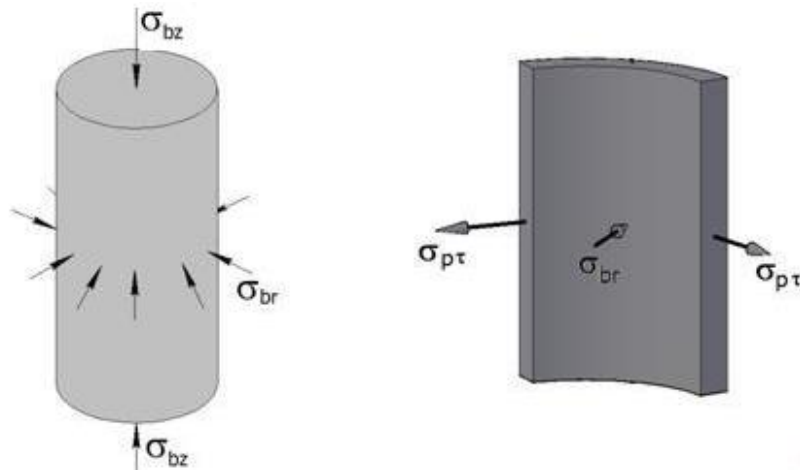


Рисунок 6. Спільна робота бетонного ядра і сталевій обойми

- величина бічного тиску обойми і, отже, радіальні стискуючі напруження, що діють на бетонне ядро, також залежать від коефіцієнта армування поперечного перерізу сталобетонного несного елемента (μ_s), тоді:

$$\sigma_{b,r} = \left(\frac{\delta}{R} + \mu_s \right) f_{yk} ;$$

- вважаємо, що на величину максимальних напружень сталевій обойми в поздовжньому напрямку істотний вплив надає наявність зварного шва і спосіб його виконання, що враховується коефіцієнтом міцності зварного шва обойми φ_{sv} .

З огляду на всі вище перераховані припущення формула для визначення несної здатності, з урахуванням спільної роботи бетонного ядра і сталевій обойми, приймає наступний вигляд:

$$N_{разр} = A_c \cdot f_{ck} + \varphi_{sv} \cdot A_a \cdot f_{tk} + \left(\frac{\delta}{R_m} + \mu_s \right) f_{yk} \cdot A_c ; \quad (1)$$

де $N_{разр}$ – несна здатність залізобетонного циліндричного елемента; A_c , A_a – площі поперечних перерізів, відповідно бетонного ядра і сталеві обійми; f_{ck} – характеристична міцність бетону на стиск; f_{tk} , f_{yk} – відповідно, характеристичні значення міцності сталі на розтяг і значення міцності сталі на кордоні текучості; φ_{sv} – коефіцієнт, що враховує зниження міцності залізобетонного елемента за рахунок зварного шва; δ – товщина стінки сталеві обійми; μ_s – коефіцієнт армування поперечного перерізу сталобетонного циліндричного несного елемента $\mu_s = A_a / (A_a + A_c)$; R_m – середній радіус сталеві обійми залізобетонного циліндричного елемента, що дорівнює:

$$R_m = 0,5 \cdot (R_n + R_e),$$

де R_n , R_e – відповідно, зовнішній і внутрішній радіус сталеві обійми залізобетонного елемента.

Наведений розрахунок виконаний з урахуванням об'ємного напруженого стану в бетонному ядрі, що виникає за рахунок радіального обтиснення сталеві обіймою, і справедливий не тільки для сталобетонних несних елементів із суцільною обіймою, але і для визначення несної здатності сталобетонних елементів, де бетонне ядро поміщено в обійму нового типу, тобто сітчасту.

При цьому геометричні характеристики поперечного перерізу циліндричного сталобетонного несного елемента визначаються з урахуванням особливостей поперечного перерізу обійми нового типу, що складається з фактичної площі сталеві сітчастої обійми, а також бетонних клинів, що заповнюють осередку сітчастої обійми.

Фактична площа циліндричної сітчастої обійми визначається як добуток фактичного периметра сітчастої сталеві обійми, з урахуванням пустот осередків, на товщину листа заготовки і дорівнює:

$$A_{as}^{факт} = S_{as} \cdot \delta_3 = \pi \cdot \kappa \cdot \delta_3 (D_n - \delta_{as}),$$

де S_{as} – периметр циліндричної сітчастої обойми; δ_3 – товщина листа заготовки сталевий сітчастої обойми; δ_{as} – товщина сітчастої обойми, що дорівнює габаритній товщині просіченого листа (S), відповідно ГОСТ [84]; D_n – зовнішній діаметр сталевий сітчастої обойми залізобетонного несучого елемента; κ – коефіцієнт, що враховує геометричні розміри осередків просіченого листа, а саме ширину подачі B , крок осередків B і розмір витяжки за кожен хід штамповки A [84], який визначається з наступного співвідношення:

$$\kappa = \frac{M}{K} = \frac{N}{B}$$

Таким чином, розглянутий конструктив, являє собою композит, у якого просічено-витяжний лист це армування, а бетон, яким заповнюють утворені при виготовленні просічено-витяжного листа порожнини-осередки, з'єднувальний матеріал. При розрахунку несної здатності сталобетонного циліндричного несного елемента бетонний масив, у вигляді клинів, включений в перетин обойми, шляхом приведення площі бетонних клинів до площі сталі, за формулою:

$$A_{c,red} = \frac{A_{a,k} \cdot E_c}{E_a}, \quad (2)$$

де E_a , E_c – відповідно модуль деформації 1-го роду метала і бетону;

$A_{a,k}$ – площа бетонних клинів, сітчастої обойми, що дорівнює:

$$A_{c,k} = A_{as} - A_{as}^{факт},$$

де A_{as} – початкова площа поперечного перерізу сітчастої обойми, товщиною δ_{as} , без врахування складної структури обойми, що дорівнює:

$$A_{as} = \frac{\pi \cdot D_n^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D_n - \delta_{as})^2}{2} = \pi \cdot \delta_{as} (D_n - \delta_{as}).$$

Тоді формула (2) має наступний вигляд:

$$A_{c,red} = \frac{E_c}{E_a} \left[\pi \cdot \delta_{as} (D_n - \delta_{as}) - \pi \cdot \kappa \cdot \delta_3 (D_n - \delta_{as}) \right] = \frac{\pi \cdot E_c}{E_a} (D_n - \delta_{as}) [\delta_{as} - \kappa \cdot \delta_3].$$

Звідси наведена площа поперечного перерізу сітчастої обойми $A_{as,red}$ з урахуванням наведеного поперечного перерізу бетонних клинів дорівнює:

$$A_{as,red} = A_{c,red} + A_{as}^{\phi_{акм}} = \pi \cdot (D_H - \delta_{as}) \left[\frac{E_c}{E_a} (\delta_{as} - \kappa \cdot \delta_3) + \kappa \cdot \delta_3 \right] =$$

$$= \pi \cdot (D_H - \delta_{as}) \left[\frac{E_c}{E_a} \delta_{as} + \kappa \cdot \delta_3 \left(1 - \frac{E_c}{E_a} \right) \right],$$

При цьому, бетонні клини, крім часткового виконання функції обійми, за рахунок монолітності з бетонним ядром, утворюють природне зчеплення бетонного ядра і сталевій обійми, внаслідок чого, забезпечується спільність роботи складових сталобетонного елемента нового типу протягом всієї експлуатації.

Враховуючи, наведені вище перетворення, визначена приведена товщина сітчастої обійми $\delta_{as,red}$:

$$\delta_{as,red} = \frac{A_{as,red}}{S_{as}} = \frac{\pi \cdot (D_H - \delta_{as}) \left[\frac{E_c}{E_a} \delta_{as} + \kappa \cdot \delta_3 \left(1 - \frac{E_c}{E_a} \right) \right]}{\pi \cdot (D_H - \delta_{as}) \left[\frac{E_c}{E_a} \delta_{as} + \kappa \cdot \delta_3 \left(1 - \frac{E_c}{E_a} \right) \right]} =$$

$$= \left[\frac{E_c}{E_a} \delta_{as} + \kappa \cdot \delta_3 \left(1 - \frac{E_c}{E_a} \right) \right] \quad (3)$$

З урахуванням (3) формула (1), для визначення несної здатності сталобетонних циліндричних несних елементів нового типу, приймає наступний вигляд:

$$N_{пзр} = A_c \cdot f_{ck} + \varphi_{sv} \cdot A_{as,red} \cdot f_{tk} + \left(\frac{\delta_{as,red}}{R_m} + \mu_s \right) f_{yk} A_c, \quad (4)$$

Таким чином, за наведеними формулами (1) і (4), визначається несна здатність циліндричного сталобетонного конструктиву, з будь-яким типом сталевій обійми.

В представлений роботі проаналізовано значну частину існуючих методик розрахунку несної здатності як трубобетонних циліндричних елементів будівель та споруд, так і циліндричних елементів з непрямым армуванням, представлені їх переваги та недоліки. Так аналіз існуючих методик теоретичних досліджень різних авторів показав, істотні розбіжності, передумов роботи при стисненні, як в цілому циліндричного несучого сталобетонного елемента, так і його складових у вигляді бетонного ядра і сталевій обійми окремо. Внаслідок чого, має місце

існування великої кількості різних методик розрахунку несучої здатності сталобетонного циліндричного стисненого елемента, які також мають значні розбіжності ($\pm 17\%$), як між собою, так і з експериментальними даними.

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.2.1

2.1 Current issues related to the study of chemistry at school

Abstract. The article provides an analysis of the participation of graduates of Ukrainian schools in the period 2017-2023. in External independent testing and National multi-subject testing. The expediency of conducting educational events in the format of Olympiads for high school students has been analyzed and substantiated.

Keywords. External independent testing, National multi-subject testing, LMS Moodle

INTRODUCTION

Many educational ombudsmen, scientists, teachers, parents and politicians pay attention to the problems of educational activity in society every year. Complicated issues are extremely difficult to solve. The involvement of schoolchildren in the study of natural sciences, in particular chemistry, is particularly urgent today. Recent events that have shaken the world community, starting with covid and the harsh invasion of Russian troops on the territory of Ukraine, further affected the interest of schoolchildren in preparing and passing in the formats of External independent testing (EIT) and national multi-subject chemistry testing (NMT). The analysis of information sources [85-90] showed that the percentage of applicants who pass trial entrance exams in natural sciences decreases every year. It should be warned that there may come a time when students will lose interest in studying such essential subjects as chemistry and physics, which will significantly affect the development of industrial, agricultural, food, machine-building and other sectors of human activity. For the successful and rapid recovery of Ukraine after the victory over the Russian aggressor, the need for specialists in natural sciences will be extremely high. The involvement of Ukrainian youth in the reconstruction of our state will contribute to its successful prosperity.

Taking into account the above, it becomes necessary for teachers of the higher school to create certain familiarization events for schoolchildren in order to interest them in choosing future professions, which, in particular, are related to the study of chemistry at school.

MAIN PART

Events related to the 2020 covid brought significant changes to the global educational process. This also affected educational orientations in Ukraine, in particular natural sciences. While monitoring the selection of entrants to take the entrance exams in the subject "Chemistry", it is worth noting that not so many people want to compete for their knowledge in the chemistry profile. The analysis of information sources [85-90] showed that the number of registered graduates to participate in external examinations and pass entrance exams in chemistry in the period 2017-2023 has a tendency to decrease (Fig. 1).

In 2017, the number of those wishing to take the Chemistry EIT was about 25,000. A sharp decrease in the number of registered participants, by almost 38%, was observed from 2017 to 2019. This becomes clear, since in 2018 new conditions for admission to medical specialties were published on the website of the Ministry of Health of Ukraine [91]. Among the specialized subjects, entrants were offered the right to choose between biology and chemistry (the second competitive subject). Entrants began to give preference to taking the final exam in biology, which resulted in a further decrease in the number of registered participants until 2021. Compared to 2017, their number decreased by 48.64% in 2021.

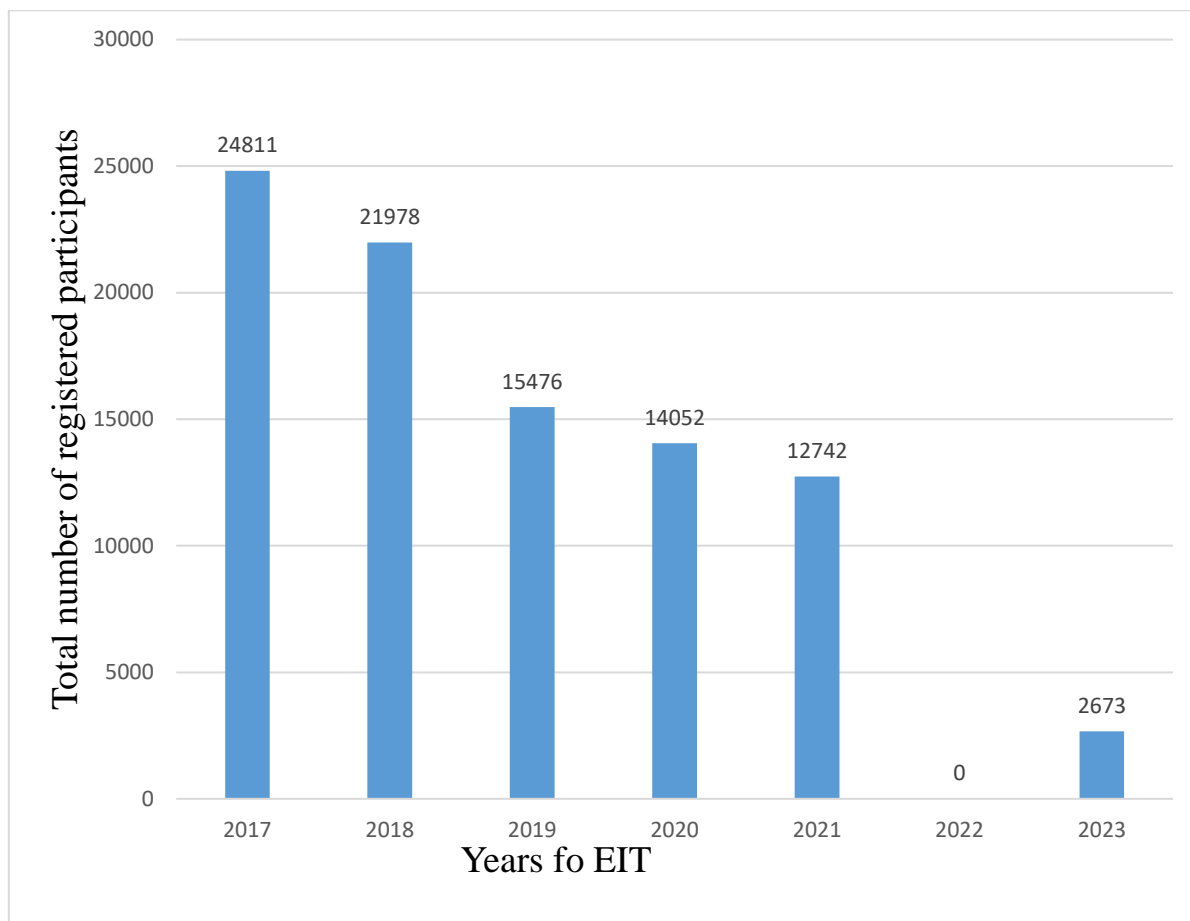
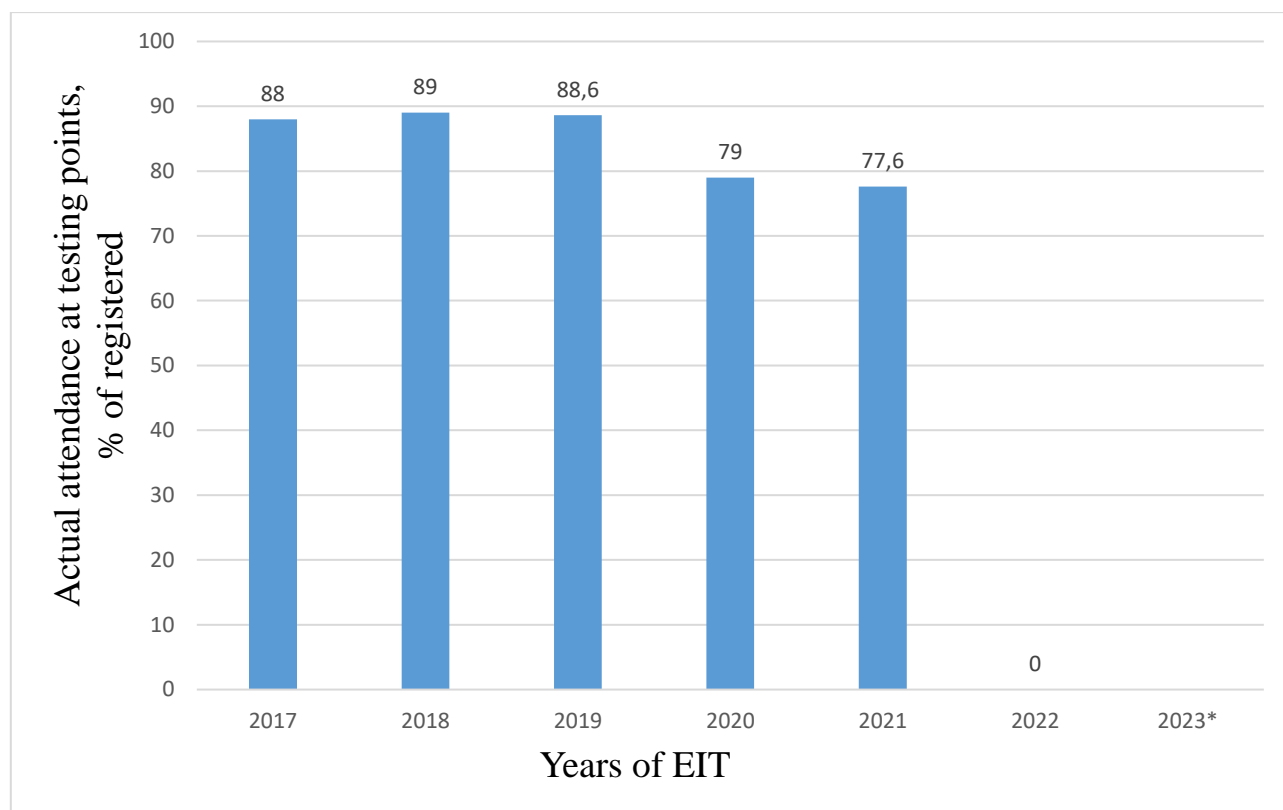


Figure 1. Participation of entrants in the EIT in "Chemistry" in the period 2017-2023.

In 2017, the number of those wishing to take the Chemistry EIT was about 25,000. A sharp decrease in the number of registered participants, by almost 38%, was observed from 2017 to 2019. This becomes clear, since in 2018 new conditions for admission to medical specialties were published on the website of the Ministry of Health of Ukraine [91]. Among the specialized subjects, entrants were offered the right to choose between biology and chemistry (the second competitive subject). Entrants began to give preference to taking the final exam in biology, which resulted in a further decrease in the number of registered participants until 2021. Compared to 2017, their number decreased by 48.64% in 2021.

Analyzing the actual presence of applicants during the entrance tests in the main session of Chemistry EIT in the period 2017-2021 shows their decrease by approximately 10% in 2021 compared to 2017-2019 (Fig. 2) [85-90]. This can be

explained by the lack of applicants for testing due to the introduction of quarantine measures caused by covid.



*- data not provided

Figure 2. Actual participation of entrants in the EIT in “Chemistry”
in the period of 2017-2023.

In 2022, the admission of applicants to higher educational institutions was based on the results of the NMT, which did not contain tasks on the subject "Chemistry". The year 2023 was special in terms of the number of those willing to take the test in chemistry. Chemistry was chosen by the least number of participants, as many as 2,673 people, among the optional subjects at the NMT [90]. This can be justified by conducting the educational process for students of graduation classes mainly in the online format, the difficulty of conducting full-fledged classes in the occupied territories, the lack of electricity, and poor Internet connection. Despite the small number of NMT participants who chose "Chemistry", 26 of them received 200 points [92].

If we analyze the percentage of participants who did not overcome the threshold, "passed/failed" the final examination in "Chemistry", then no clear regularity is observed (Fig. 3). The different number of tasks of the EIT in 2017-2021, the maximum number of test points, and the threshold score „passed/failed” can explain this (Fig. 4) [85-89].

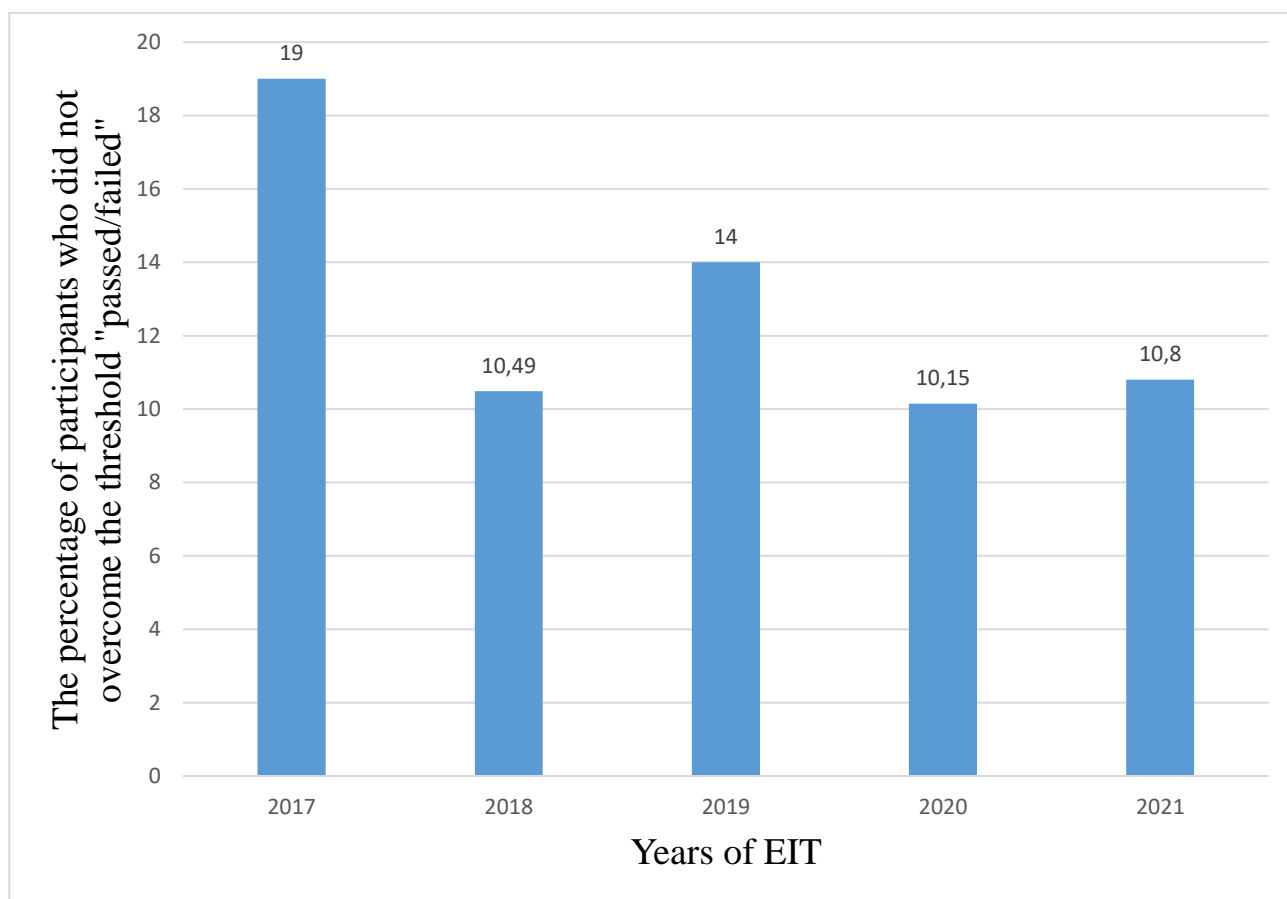


Figure 3. The percentage of participants who did not overcome the threshold "passed/failed" when taking the EIT in "Chemistry" in the period 2017-2023.

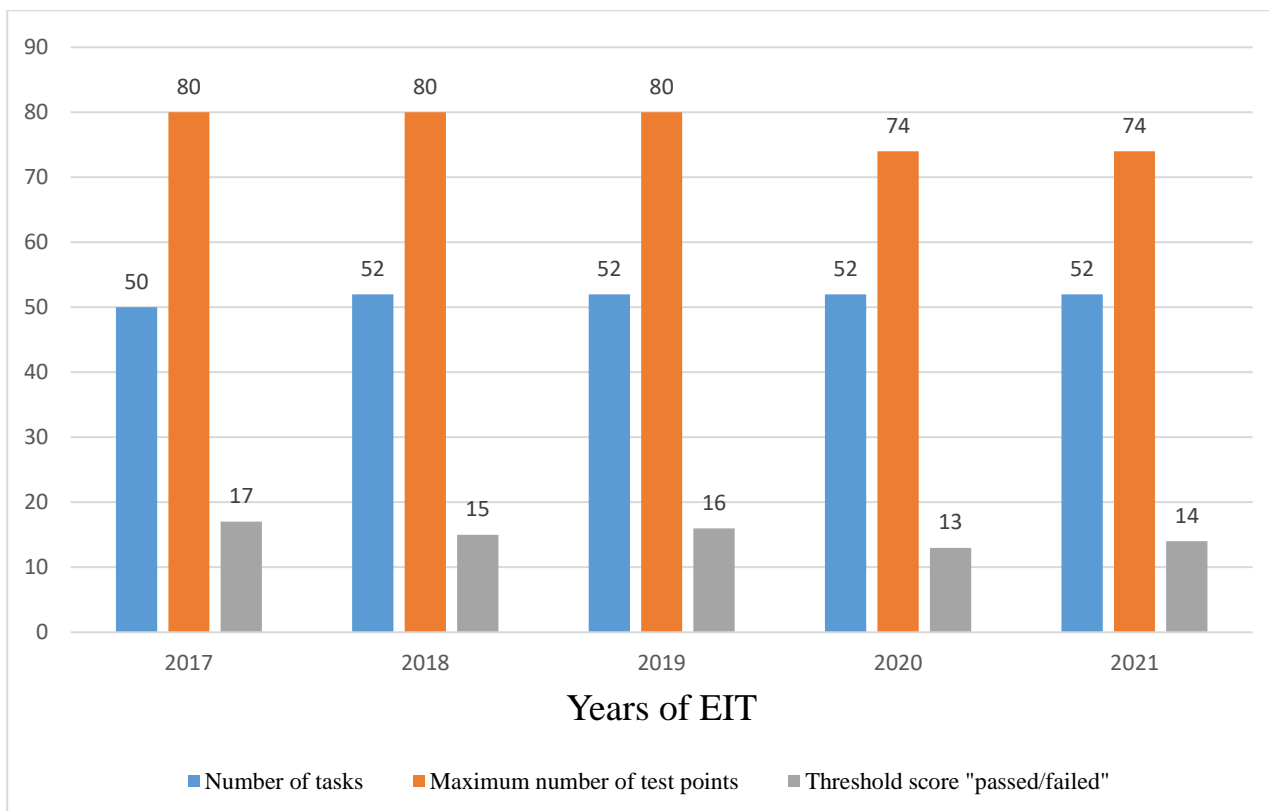


Figure 4. The number of tasks, the maximum number of test points and the threshold score "passed/failed" during the EIT in "Chemistry" in the period 2017-2023

The invasion of Russian troops on the territory of Ukraine prompted an even greater urgency regarding the organization and reorganization of the educational process at school, because school education is the most important factor in the further economic and social progress of Ukrainian society, especially in the post-war period. Since the beginning of the war, the number of children who continued their education in Ukrainian schools has significantly decreased due to their relocation and continued education in foreign educational institutions. Many teachers in their scientific publications cite scary statistics regarding the number of dead students starting from February 24, 2022 [93, 94]. Undoubtedly, the war had a negative impact not only on school education, but also on educational activities in higher education. Educators were faced with the urgent question of ensuring a stable and uninterrupted educational process, which is seen as a perspective in the school-university tandem. In particular, the National University "Lviv Polytechnic" started holding subject Olympiads "Future

with Polytechnic" for students of grades 10-11. They took place in two rounds. At the Institute of Chemistry and Chemical Technologies, such an event was in the field of "Chemistry". Thus, on February 4, 2023, the first round of the Olympiad using the Moodle platform was held online. 154 participants took part in it. All were awarded the corresponding certificate (Fig. 5).



Figure 5. Template of certificate of participants of the 1st round of the "Future with Polytechnic" Olympiad (section "Chemistry")

34 participants, winners of the first round, were invited to participate in the second round, which took place in March of the same year [95]. The active organizers of such an event were scientific and pedagogical workers of the university's Department of Physical, Analytical and General Chemistry, professor Pavlo Shapoval, associate professor Lilianna Oliynyk, associate professor Zoryana Komarenska, and associate professor of the Department of Chemistry and Technology of Inorganic Substances - Roksoliana Bukliv.

The second round of the Olympiad "Future with Polytechnic" for students of grades 10-11 in the field of "Chemistry" took place in a face-to-face format at the Student Library of the National University "Lviv Polytechnic". Ukrainian schoolchildren demonstrated their chemistry erudition during testing on the Moodle

platform, as in the first round. The test tasks contained 14 questions of various levels of difficulty, the content of which corresponded to the current programs:

- Chemistry curricula for grades 6-9 (State standard of basic and comprehensive general secondary education, 2011) approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 06.07.2017 No. 804;

- Chemistry curriculum (standard level) for grades 10-11 of secondary schools, approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 10/23/2017 No. 1407.

If the student successfully passed the test, he could score a maximum of 100 points. For this, he needed to give the correct answer to:

- 6 questions of 5 points each;
- 4 questions of 7 points each;
- 3 questions for 9 points each;
- 1 question for 15 points (problem).

Among the 14 proposed Olympiad tasks, 13 were multiple-choice and 1 was matching. There was only one attempt to work on each question. With the help of the "Moodle" system, each participant received a task in a different number sequence and a different letter answer. It took 60 minutes to complete them. Since the Olympiad took place during the period of martial law in Ukraine, in the event of an air raid, all participants had the opportunity to evacuate to the shelters provided in the premises of the Lviv Polytechnic.

16 high school students actually took part in the second round of the "Future with Polytechnic" Olympiad in the field of "Chemistry". Each of the 16 participants answered all 14 questions. Therefore, the percentage of correct answers for each question turned out to be different (Fig. 6).

The analysis of the test results shows that in each block of questions some of them were difficult to solve. The highest percentage of them is among the questions that were evaluated with 5 points. It is worth noting that almost a third of the participants managed the task of 15 points.

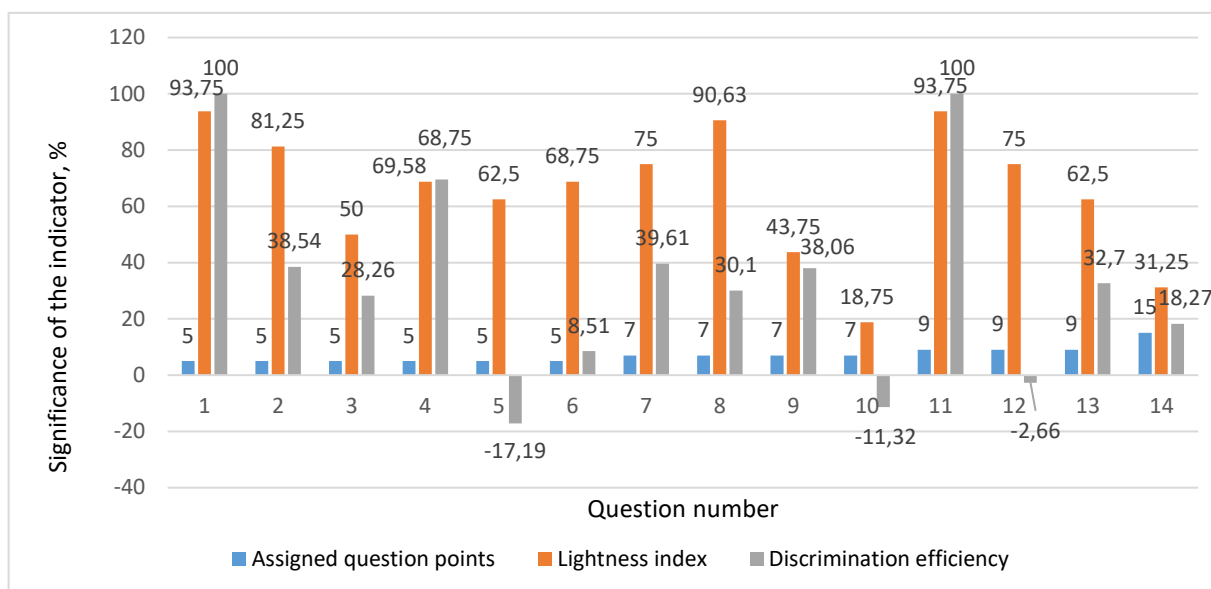


Figure 6. The results of tasks performed by students of grades 9-11 in the second round of the "Future with Polytechnic" Olympiad in the field of "Chemistry"

According to the results of the chemistry competition, the range of points obtained was from 86 to 18 [95]. In order to support the interest of the graduates in the study of natural sciences and their active participation in the Olympiad, the winners who received the highest points were presented with diplomas and valuable gifts to all the schoolchildren present.

CONCLUSION

The participants of the educational process, in particular the students of the final classes, need special and careful information about the expediency of studying chemistry and the need for specialists who have relevant chemical knowledge and will be able to solve various issues that are now acutely arising as a result of Russia's hostile aggression. The actualization and motivational emphasis of teachers on the systematic study of natural sciences at school in combination with their comprehensive work with scientific and pedagogical workers of higher educational institutions will contribute to overcoming the emerging crisis in society regarding the understanding and desire to study them as soon as possible. In order to achieve the goals set for teachers and students, during educational activities, it is advisable to combine face-to-face and distance learning forms, as well as to use the entire available arsenal of distance learning tools.

SECTION 3. COMPUTER SCIENCE

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.3.1

3.1 Proactive protection of 5G NR networks from jamming attacks

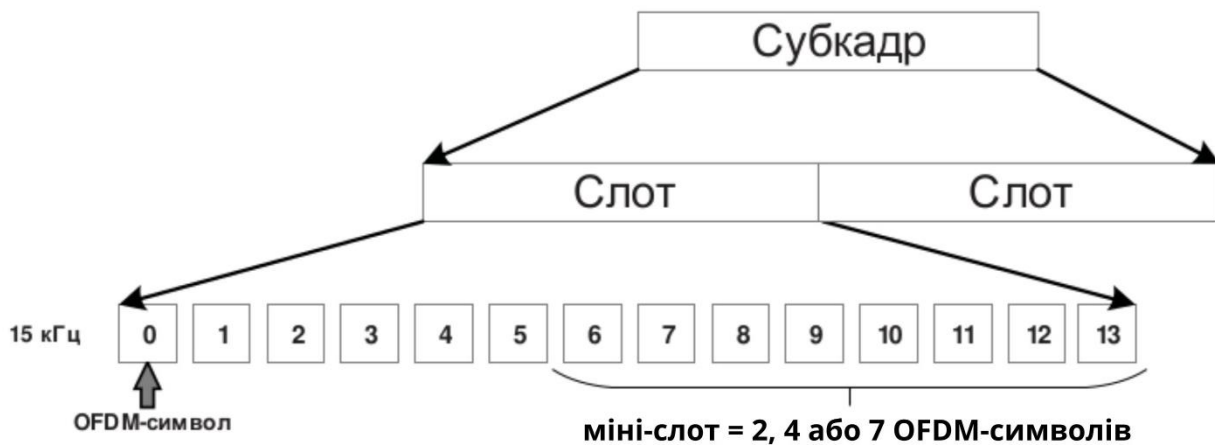
Розвиток технології зв'язку 5G, останнього досягнення в бездротових стільникових мережах, відкриває потенціал для підвищення швидкості передачі даних і надійного надання послуг. Задумана як каталізатор новаторських інновацій, таких як Інтернет речей (IoT - Internet of Things), автономні транспортні засоби та інтелектуальні міські центри, ця технологія знаходиться на порозі зміни нашого цифрового світу.

Щоб реалізувати це бачення, партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній *3GPP* (3rd Generation Partnership Project) випустила базову специфікацію нового радіо 5G у 2017 році, яка стане основою для наступного покоління мобільних мереж [96]. Розробка 5G NR (5G New Radio) є частиною постійного процесу розвитку мобільної широкосмугової мережі для задоволення вимог 5G, як зазначено в IMT-2020, подібно до розвитку бездротових технологій 3G та 4G. У минулих 3G і 4G основний акцент ставився на підключенні абонентів мережі, але у майбутньому 5G буде підключати все, це означає, що 5G NR буде підключати смартфони, автомобілі, лічильники, переносні пристрої та ін. Передбачається, що ціна за біт інформації відповідно буде нижча, нижчі будуть затримки при передачі даних, висока щільність обслуговування, яка становить більш мільйона користувачів на один квадратний метр, мінімальний час доставки пакету не більш 1 мс, надійність передачі інформації не менше 99,999% та максимальна енергоефективність. Завдяки новим вимогам, щодо затримки, надійності та безпеки, 5G NR буде масштабуватися для ефективного підключення великого різноманіття Інтернету речей (IoT) та зможе запропонувати нові типи критично важливих послуг. Архітектура 5G NR має п'ять основних принципів, що лежать в основі її дизайну: використання нових частот радіочастотного спектру, багатоелементні антенні решітки MIMO (multiple input multiple output - багатоелементні цифрові антенні

решітки), багатофункціональне підключення через різноманітний доступ до технології, гнучкі віртуалізовані мережі та посилений захист.

5G працює в широкому діапазоні радіочастот від 1 ГГц до 100 ГГц, що значно перевищує робочі частоти попередніх стільникових систем. Фізичний рівень базується на OFDM-модуляції (OFDM - orthogonal frequency-division multiplexing, мультиплексування з ортогональним частотним поділом) у низхідній лінії зв'язку. Для висхідної лінії зв'язку підтримується як OFDM, так і варіант під назвою OFDM з дискретним перетворенням Фур'є.

Структура субкадру 5G NR, наведена на малюнку 1, складається з 10 підкадрів, кожен з яких містить 14 символів OFDM, з тривалістю 10 мс.



Малюнок 1. Структурна схема субкадра 5G NR

Для гнучкого розподілу ресурсів між висхідною та низхідною лінією зв'язку на фізичному рівні може використовуватися як мультиплексування з частотним поділом каналів (FDD - Frequency Division Duplex, дуплексний канал с частотним поділом), так і мультиплексування з часовим поділом каналів (TDD - Time Division Duplex, дуплексний канал с часовим поділом) [97]. Завдяки доступу до широкого спектру та застосуванню передових антенних технологій, таких як формування променя Massive MIMO, 5G досягає кращої пропускної здатності порівняно зі старими мережами. Massive MIMO використовує великі масиви з сотнями антенних елементів для точного просторового мультиплексування та керування променем. Це дозволяє фокусувати сигнали на конкретних

користувачів, одночасно зменшуючи перешкоди. 5G також об'єднує різноманітні типи підключення від мобільного широкосмугового зв'язку до надійних з'єднань з низькою затримкою. Програмне забезпечення мережі за допомогою SDN (software-defined networking - програмно-визначувана мережа) і NFV (network functions virtualization - віртуалізація мережевих функцій) забезпечує гнучкість дозволяючи оптимізувати потужності мережі до послуг, що надаються у відповідності з вимогами.

Працюючи у широкому діапазоні частот, 5G NR має широку смугу частот, що досягає 100 МГц нижче 6 ГГц, а вище цього порогу смуга частот становить 400 МГц. Центральне місце в архітектурі фізичного рівня 5G NR займають окремі канали для організації низхідної і висхідної передачі даних. Множина низхідних каналів включає в себе загальний низхідний канал (PDSCH - physical downlink shared channel), ширококомовний канал (PBCH - Physical Broadcast Channel) і канал управління низхідною лінією (PDCCH - physical downlink control channel). Аналогічно, спектр каналів висхідної лінії зв'язку включає спільний канал висхідної лінії зв'язку (PUSCH - physical uplink shared channel), канал управління висхідною лінією зв'язку (PUCCH - physical uplink control channel) і канал довільного доступу (PRACH - physical random access channel).

Складність фізичного рівня 5G NR ще більше посилюється включенням масиву опорних сигналів і пілотних сигналів синхронізації - до них відносяться первинний сигнал синхронізації (PSS - primary synchronization signal) і вторинний сигнал синхронізації (SSS - secondary synchronization signal). Ці сигнали виконують критично важливу роль синхронізації між базовими станціями і користувацьким обладнанням (UE - user equipment), одночасно передаючи важливу ідентифікаційну інформацію про елемент мережі. Примітно, що PSS і SSS мають складні конфігурації послідовностей і підносійних, ретельно розроблені для полегшення диференціації базових станцій, навіть у сценаріях зі знизеним співвідношенням сигнал/шум (SNR - signal-to-noise ratio) [98].

Фундаментальний принцип 5G NR знаходить своє вираження в масштабованій нумерології NR, динамічній структурі, пристосованій для

узгодження з різноманітною множиною радіочастот, смуг пропускання і спеціалізованих послуг 5G. Це тягне за собою впровадження різних інтервалів між підносійними (SCS - subcarrier spacing) - наприклад, 15, 30, 60 і 120 кГц, кожен з яких відповідає потребам макропокриття, малих сот, приміщень і частот діапазону міліметрових хвиль, відповідно. Взагалі архітектура мережі 5G NR тісно перекликається зі своєю попередницею 4G/LTE, прикрашеною тонкими нюансами.

Заглиблюючись у сферу кодування 5G NR, слід зазначити що в мережі 5G використовується гетерогенний підхід, при якому коди з низькою щільністю перевірки парності (LDPC - low-density parity-check) використовують у каналі передачі даних, тоді як полярне кодування використовується в каналі управління. Коди LDPC демонструють хорошу ефективність при виправленні помилок у процесі обробки невеликих пакетів даних. На противагу цьому, потенціал полярного кодування використовується для колосальних масивів даних, забезпечуючи продуктивність, яка впритул наближається до знаменитої межі Шеннона, хоча і краще підходить для сценаріїв передачі об'ємних даних.

Доповненням архітектури 5G NR є плавне впровадження технології масового багатоканального вводу-виводу (MIMO - multiple-input/multiple-out) - інновація, яка розширює як покриття, так і пропускну здатність, вдихаючи нове життя в саму суть бездротових стільникових мереж [99 - 102]. Складна взаємодія цих аспектів спільно вибудовує структуру 5G NR - архітектура, захищена від примарних атак "розумного" глушіння.

Хоча 5G обіцяє суттєві переваги, його складність створює нові вразливості, якими можуть скористатися зловмисники. У мережах 5G, як і в будь-якій бездротовій стільниковій мережі, вразливості виникають через їхню залежність від відкритого простору комунікаційного середовища - необмеженої області вільного простору. Ця вразливість підкреслюється потенційною можливістю виникнення перешкод - явища, здатного значно погіршити продуктивність цих мереж, перешкоджаючи точному декодуванню сигналів на стороні приймача. У цьому контексті виникає тривожна перспектива:

зловмисники можуть скористатися цією вразливістю, здійснюючи атаки "глушіння", які здатні порушити зв'язок користувачів у певних бездротових каналах. Історичні передумови атак типу "глушіння" ("jamming") свідчать про їхнє попереднє використання на військових театрах бойових дій, що підтверджує їхню здатність спричиняти хаос у сучасних комунікаційних мережах [103, 104]. Ситуація ще більше ускладнюється сучасним поширенням доступних за ціною пристроїв для створення перешкод, а також можливістю здійснювати складні атаки за допомогою програмно-визначених радіоінструментів і навичок програмування, що значно підвищує потенціал для радіоатак.

Хитросплетіння таких атак з глушінням ґрунтується на їхній здатності маніпулювати самим ядром архітектури мережі 5G. В основі цих атак лежить цілеспрямована і добре відкалібрована стратегія перешкод, коли радіочастотні сигнали навмисно закриваються фальшивим шумом. Результатом є порушення когерентності переданих даних, що призводить до деградації сигналу і, зрештою, перешкоджає безперебійному потоку інформації. Це порушення може проявлятися у вигляді стрибків, затримок, зниження швидкості передачі даних і навіть повної втрати сигналу, що серйозно впливає на якість роботи користувачів.

Сучасні атаки з "розумним глушінням" відрізняються підвищеною складністю, що частково пояснюється технологічним розвитком самого ландшафту 5G. Фундамент 5G побудований на багатогранній архітектурі, що охоплює різні частотні діапазони, передові методи модуляції і складний набір методологій формування променя. Саме ці характеристики, що забезпечують покращену ефективність 5G, також створюють сприятливий ґрунт для зловмисних маніпуляцій. Зловмисники, озброєні поглибленим розумінням цих тонкощів, можуть організовувати атаки глушіння, націлені на певні частотні діапазони, або використовувати вразливості, притаманні алгоритмам формування променя. Такі атаки можуть бути налаштовані на різний рівень - від постановки шумоподібних перешкод в широкому діапазоні спектру використовуваних частот до вузькоспрямованих атак на критично важливі лінії зв'язку.

У відповідь на такі зростаючі загрози наукове співтовариство і галузеві експерти активно працюють над розробкою контрзаходів і оборонних стратегій для захисту мереж 5G від атак "розумного" глушіння. Розробляються вдосконалені алгоритми обробки сигналів, механізми виявлення аномалій та інтелектуальні методи аналізу спектру для швидкого виявлення та пом'якшення наслідків перешкод. Крім того, інтеграція можливостей когнітивного радіо, які дозволяють пристроям динамічно адаптувати параметри передачі, обіцяє підвищити стійкість мережі.

Серед безлічі викликів значне занепокоєння викликають генератори перешкод - бездротові пристрої, що використовуються зловмисниками для порушення безперебійного функціонування бездротових мереж стільникового зв'язку. Ця категорія охоплює різні типи генераторів перешкод, кожна з яких використовує різні стратегії для реалізації зловмисних намірів:

1) звичайні генератори перешкод - посідають чільне місце серед засобів, які створюють завади. Ці засоби, під виглядом звичайних пристроїв, здійснюють безперервне випромінювання радіочастотних сигналів, нехтуючи встановленими протоколами контролю доступу до середовища (MAC - medium access control). Такий підхід характеризується значним споживанням енергетичних ресурсів, що призводить до помітного виснаження заряду батареї хоста, який здійснює атаку. Таким чином, генерування таких перешкод накладає обтяжливі енергетичні витрати на пристрій, що здійснює атаку, ефективно висмоктуючи його запаси енергії і з часом роблячи його менш ефективним. Цікаво, що відмінною рисою цих звичайних генераторів перешкод є відсутність необхідності відстежувати діяльність підключених користувачів у мережі.

Основна відмінність між звичайними генераторами перешкод та їхніми аналогами полягає в їхньому підході до динаміки мережі. На відміну від більш складних механізмів глушіння, які тонко аналізують поведінку зареєстрованих у мережі користувачів і реагують на неї, звичайні генератори перешкод працюють з відвертим ігноруванням таких нюансів. Така нерозбірливість є одночасно і

обмеженням, і відмінною рисою, що підкреслює складність протидії таким невивірковим перешкодам;

2) оманливі генератори перешкод, які ще також називають оманливими перешкодами, вводять дійсні бітові шаблони в канал зв'язку, змушуючи об'єкт-одержувач помилково зробити висновок, що передача походить із законного джерела. Виявлення таких ворожих атак є складним завданням через високу схожість між штучними та автентичними сигналами. Завдяки впровадженню автентичних послідовностей даних зловмисник-передавач успішно вводить одержувача в оману. Диференціація легітимної та оманливої передачі залишається відкритою проблемою дослідження через порівнювані характеристики;

3) стохастичні перешкоди використовують стратегію періодичного блокування для досягнення економії енергії. Завдяки чергуванню між активним і неактивним станами, передавач зберігає енергію під час періодів простою. Під час активної фази в канал зв'язку вводяться перешкоди з попередньо визначеною тривалістю, перш ніж радіопередавач буде деактивовано. Вводячи випадкові перешкоди спорадичним чином, ефективність глушіння на одиницю потужності можна суттєво підвищити;

4) реактивні перешкоди, на відміну від активних перешкод, ґрунтуються на постановці адаптивних перешкод в каналі зв'язку. Замість того, щоб постійно передавати шуми, реактивні генератори перешкод контролюють канал і ініціюють блокування лише тоді, коли в ефірі виявляється трансляція, яке слід подавити. Ця селективна стратегія спрямована на підвищення енергоефективності шляхом усунення непотрібного споживання електроенергії під час періодів простою. Завдяки динамічному вибору частоти реактивні генератори перешкод ще більш мінімізують свій слід, вибираючи канали, які на даний момент проявляють активність. Однак реактивні підходи стикаються з проблемами швидкого виявлення цільових сигналів і активації перешкод до завершення прийому повідомлення;

5) перехідні перешкоди використовують вибірковий підхід обструкції шляхом націлювання на один діапазон частот під час кожної атаки. Коли легітимний передавач перемикає канали, щоб уникнути супротивної дії, генератор перешкод слідує за ним, переміщуючи фокус на нову частоту. У той час як таке адаптивне глушіння частоти забезпечує енергоефективне періодичне блокування, передавачі зі швидкими стрибками можуть потенційно спричинити надмірні витрати на комутацію та споживання ресурсів;

б) перешкоди для управління каналом мають на меті досягти повного блокування каналу зв'язку між законними передавачем та приймачем. Постійно займаючи канал, перешкоди зловмисників блокують доступ до мережі, що призводить до відмови в обслуговуванні. Безперервна передача сигналів перешкод від пристрою перешкод блокує використання каналу для зв'язку. Після ініціювання глушіння блокування керування каналом зберігається, доки генератор перешкод не припинить атаку. Ця стійка стратегія максимізує перебої в обслуговуванні, але вимагає значних витрат енергії;

У контексті вразливостей мережі 5G NR до атак типу "глушіння" слід віднести:

- вразливість PBCH (physical broadcast channel), яка існує у складній архітектурі базової станції, ґрунтується на деякій чіткій закономірності. Коли носійна частота розташована нижче 3 ГГц, символи розподіляються один від одного в межах двох слотів, тоді як цей розподіл розширюється до чотирьох слотів для носійних, що перевищують поріг 3 ГГц [105]. Цей шаблон розподілу створює значну вразливість, незалежно від частотного діапазону. Цікаво, що вразливість зберігається, незважаючи на обмеження поширення радіохвиль, притаманні високим частотам. Незважаючи на те, що високі частоти розповсюджуються на меншу відстань, що змушує ближче розташовувати джерела перешкод до мобільних станцій, складна конфігурація конструкції посилює сприйнятливність. Ця конструктивна особливість слугує каналом для селективних атак глушіння. Використовуючи невеликі робочі цикли, вибіркові перешкоди можуть ефективно націлюватися на PBCH. Що пояснюється

просторовою близькістю символів, характеристикою, яка зберігається в усіх діапазонах частот. Така тонка вразливість, хоча і залежить від обмежень поширення частоти, підкреслює делікатну взаємодію між дизайном і сприйнятливістю. Стратегічні наслідки цієї вразливості багатогранні. Методології виявлення, що ґрунтуються на локалізації, є перспективними у визначенні походження перешкод, представляючи потенційний засіб протидії. Проте при зіткненні з мобільними перешкодами відбувається зміна алгоритму. У цьому випадку слід вийти за межі простого виявлення та використати постійний моніторинг переміщення перешкод. Такий підхід дозволяє передбачити майбутні позиції перешкод. Цікаво, що тривалість такого процесу моніторингу набуває першочергового значення, відкриваючи ключову детермінанту ефективності заходів із запобігання перешкодам. Часовий вимір виступає як центральний аспект. Збільшена тривалість моніторингу, хоч і пропонує зрозуміти моделі “мобільних” перешкод, ненавмисно надає розширене вікно можливостей для такого виду перешкод, тим самим посилюючи потенційну шкоду, завдану атакою;

- концепція CORESET (control resource set) - являє собою певний набір фізичних ресурсів, розташованих у сітці ресурсів низхідної лінії зв'язку 5G NR. Ці ресурси також включають набір параметрів, важливих для передачі фізичного каналу керування низхідним каналом (PDCCH). Навпаки, у структурі LTE подібний об'єкт, відомий як область PDCCH, займає початкові чотири символи OFDM у субкадрі. Однак виникає суттєва відмінність у тому, що в той час як LTE PDCCH рівномірно поширюється по всій смузі пропускання каналу, 5G NR CORESET обмежується певною областю в частотній області;

- глушіння каналу PDCCH у контексті 5G, представляє підвищену складність порівняно з аналогом у фізичному широкомовному каналі (PBCH). Щоб ефективно глушити PDCCH, зломисник повинен знайти всі можливі місця розташування PDCCH. Такий підхід доволі складний, що обумовлено відсутністю інформації щодо частотної області CORESET. Незважаючи на це, зломисник може перехопити та розшифрувати частотну область CORESET,

отримуючи таким чином перевагу у вибіркового націлюванні на підносійну, використовуючи робочий цикл, що залежить від параметра CORESET-time-duration. У цьому сенсі ключову роль відіграє час, необхідний для перехоплення та декодування CORESET;

- в PUCCH (physical uplink control channel) використовується модуляція зі стрибкоподібною зміною частоти всередині слота, що забезпечує певний ступінь захисту від вибірових перешкод. Ефективність цього захисного механізму залежить від швидкості стрибків. Примітно, що ця інформація є загальнодоступною через прозорість стандарту 5G. Отже, обізнаний зловмисник може використати інформацію про перестрибування всередині слота, щоб ефективно порушити PUCCH з мінімальними витратами. Крім того, PUCCH використовує схеми модуляції, такі як M-PSK (m-ary phase shift keying) з полярними кодами або кодами повторення для виправлення помилок, що залежить від обсягу переданих бітів. Однак полярні коди, незважаючи на те, що вони широко використовуються, відомі своєю сприйнятливостю до атак з перешкодами;

- процедура випадкового доступу (RA — random access) є критично важливою передачею висхідної лінії зв'язку в 5G NR, що забезпечує початкову реєстрацію мережі та доступ до неї користувачького обладнання (UE - user equipment). Вона передбачає передачу обладнанню користувача послідовності преамбули по фізичному каналу випадкового доступу (PRACH - physical random access channel), який виділений для RA в структурі кадру NR. Після виявлення преамбули RA в PRACH базова станція використовує преамбулу для оцінки параметрів синхронізації, таких як випередження синхронізації, щоб скоригувати затримку розповсюдження. Крім того, базова станція розподіляє радіоресурси на низхідному і висхідному каналах для подальшого зв'язку з UE, який ініціював RA. Базова станція передає розрахункові часові параметри та інформацію про розподіл ресурсів до UE у визначеному вікні відповіді після отримання початкової преамбули [106]. Цей керуючий сигнал від базової станції до UE передається по низхідному фізичному каналу керування низхідною лінією

зв'язку (PDCCH), зіставленому з набором керуючих ресурсів (CORESET). Сама структура преамбули PRACH складається з послідовності Zadoff-Chu з низькими автокореляційними властивостями для забезпечення виявлення преамбули. Вона також містить тимчасовий ідентифікатор, що відповідає користувачеві, який отримує доступ. Незважаючи на безліч можливих частотних і часових розташувань преамбули PRACH, цілеспрямоване глушіння залишається можливим за наявності достатніх можливостей зловмисника. Крім того, випромінювання недійсних преамбул на PRACH, коли місцезнаходження невідоме, може порушити доступ через колізії з легітимними послідовностями. Це підкреслює необхідність застосування складних методів боротьби з перешкодами, адаптованих до критично важливого ресурсу PRACH в мережі 5G NR, щоб запобігти відмовам в обслуговуванні під час початкового доступу до мережі;

- численні дослідження продемонстрували вразливість до атак на завади в системах MIMO, які розгортаються в 5G NR. Орієнтуючись на процедури оцінки каналу, зловмисник може серйозно вплинути на продуктивність методів MIMO, які покладаються на точну інформацію про стан каналу (CSI - channel status information). Наприклад, реалізації MIMO, засновані на розкладанні сингулярних значень (SVD - singular value decomposition), чутливі до атак, які підривають можливості багатопотокової передачі [107]. Аналогічно, були розроблені стратегії для порушення широко використовуваної схеми просторово-часового блокового кодування (STBC - space time block code) для MIMO з двома антенами. Ефективність таких атак, що порушує завадостійкість каналів MIMO, було підтверджено за допомогою теоретичного аналізу, моделювання та реальних експериментів. Важливо, що принципи атаки застосовні навіть при збільшенні масштабу, до MIMO з більшою кількістю антен. До того ж точна інформація CSI має фундаментальне значення для досягнення високого коефіцієнта формування променя і просторового мультиплексування, що гарантується MIMO. Таким чином, оцінки завадостійкості каналу можуть значно зменшити ці переваги продуктивності. Тому адаптивні алгоритми оцінки

стійкості каналу до завад є необхідними для того, щоб методи МІМО з великою кількістю антен забезпечували очікувані переваги над звичайною МІМО при наявності перешкод. Однак слід зазначити, що це відкрита дослідницька проблема, яка вимагає методів, що або протистоять завадам, або виявляють і виключають завадостійкі пілотні сигнали при оцінці CSI для попереднього кодування і просторової обробки сигналів. Рішення для захисту від масивних завад МІМО мають вирішальне значення в міру розгортання мереж 5G NR, які все більше покладаються на ці технології для забезпечення високих вимог.

Стандарт 3rd Generation Partnership Project (3GPP) для фізичного рівня 5G NR визначає використання як полярних кодів, так і кодів LDPC для кодування каналів. Полярні коди використовують явище поляризації каналу для класифікації підканалів на надійні та ненадійні набори. Інформаційні біти виділяються для більш надійних підканалів, тоді як на ненадійних передаються заздалегідь визначені біти. Це дозволяє уникнути зайвих витрат енергії на каналах з високою ймовірністю помилок. Однак, обмеження полярних кодів включають досягнення пропускну здатності лише для великих довжин блоків і високу складність кодування/декодування. Коди LDPC можуть забезпечити майже повну пропуску здатність, але страждають від складності декодування, яка експоненціально зростає при великих довжинах блоків. У 5G NR полярні коди є кращими для каналів управління, що вимагають низької затримки, тоді як коди LDPC використовуються для каналів передачі даних, що вимагають високої надійності [108]. На жаль, дослідження продемонстрували вразливість обох схем кодування до завадоподібних атак, які збільшують перешкоди та шум. Полярні коди демонструють надзвичайно високу частоту бітових помилок в умовах завад, особливо при низьких рівнях SNR близько 0 дБ [109]. Коди LDPC також стикаються з погіршенням ефективності виправлення помилок, коли завади зменшують ефективний коефіцієнт кодування. Це створює проблеми в гарантуванні стійкого і надійного контролю NR і передачі даних в умовах протидії перешкодам. Для вирішення такого роду проблем, методи завадостійкого кодування, такі як перемежування з випадковим вибором блоків,

можуть допомогти підвищити стійкість до перешкод [110]. В той же час, перспективні ітеративні алгоритми декодування продовжують досліджувати, з точки зору їх більшої стійкості до різного роду перешкод.

Науковцями та інженерами проводиться широке дослідження методів виявлення та пом'якшення наслідків атак з використанням завад на мережі 5G NR. Методології виявлення завад можна розділити на порогові, статистичні та засновані на машинному навчанні [111-113]. Порогові підходи відстежують такі показники, як коефіцієнт доставки пакетів, коефіцієнт бітових помилок і співвідношення сигнал/шум, щоб виявити аномалії, які вказують на наявність перешкод. Однак їхня ефективність обмежена проти адаптивних перешкод, а динаміка бездротового зв'язку може спричинити велику кількість хибних спрацьовувань. Статистичні методи використовують статистичний аналіз даних для розрізнення заглушених сигналів, досягаючи вищої точності для постійних перешкод. Останнім часом значну увагу приділяють машинному навчанню, де для виявлення завад застосовують класифікатори, такі як “випадковий ліс”, машини опорних векторів і глибокі нейронні мережі. Глибинне навчання демонструє високі показники виявлення, але вимагає більшої кількості наборів даних. Більшість моделей навчаються на імітованих даних, які не можуть бути узагальнені до реальних атак.

Поява 5G NR відкриває нові можливості і ставить нові виклики для захисту від завад у бездротових системах зв'язку наступного покоління. Використання високочастотного діапазону міліметрових хвиль вище 30 ГГц забезпечує покращений захист, оскільки ефективний діапазон дії перешкод обмежений збільшенням втрат на шляху проходження сигналу. Однак, цілеспрямоване створення перешкод поблизу базових станцій або користувацького обладнання залишається можливим [99]. Методи розширення спектра, такі як розширення спектра з прямою послідовністю (DSSS - direct sequence spread spectrum) і розширення спектра зі скачкоподібною перебудовою частоти (FHSS - frequency hopping spread spectrum), можуть ще більше підвищити стійкість до перешкод [111].

DSSS розширює смугу пропускання сигналу шляхом множення вузькосмугових даних на широкосмуговий псевдошумовий (PN — pseudo-noise) код, забезпечуючи покращення обробки сигналу з обмеженою смугою пропускання [112]. Але DSSS має недоліки, такі як вищі вимоги до пропускну здатності та складність реалізації. Вона також чутлива до злому PN-коду. Розширення спектра зі стрибками частоти (FHSS) досягає стійкості шляхом швидкої стрибкоподібної зміни носійної частоти за псевдовипадковим шаблоном [113-117]. Ефективність залежить від швидкості стрибків відносно ефективності генератора перешкод. Повільне перемикання дозволяє створювати перешкоди протягом одного стрибка, а швидке перемикання викликає проблеми з синхронізацією. Надійно встановити шаблони стрибків є складним завданням за допомогою засобів сканування. Були запропоновані адаптивні схеми FHSS, адаптовані для 5G, але вони потребують подальшого аналізу.

Методи теорії ігор можуть моделювати проблему боротьби із завадами як змагальну гру між легальними користувачами і завадами для визначення оптимальних стратегій, таких як стрибки частоти [118-120].

Інші підходи пропонують використання каналів синхронізації - метод боротьби з перешкодами, який має на меті відновити зв'язок між законними користувачами, використовуючи закономірності в роботі перешкод [121, 122]. Для того, щоб уникати перешкод за допомогою стрибкоподібної зміни частоти, канали синхронізації встановлюються на каналі з перешкодами шляхом вибіркової передачі під час емпірично визначених періодів відсутності перешкод. Це дозволяє уникнути накладних витрат, пов'язаних зі стрибкоподібною перебудовою частоти, за рахунок переривчастого зв'язку. Створення ефективного каналу синхронізації опирається на точне виявлення завад як необхідний крок. Аналізуючи канал з перешкодами у часі, можна виявити часові патерни атак противника. Це дає змогу зробити висновок про робочий цикл постановника перешкод і визначити інтервали часу, коли він неактивний. Тоді законний передавач може обмежити передачу, щоб узгодити її з цими періодами відсутності перешкод, уникаючи інтервалів коли присутні перешкоди у каналі.

Однак точність каналу синхронізації сильно залежить від процесу виявлення завад. Помилкові моделі поведінки завад призведуть до того, що можливості передачі під час фактичної відсутності перешкод будуть помилково класифіковані як перешкоди. А переривчастий характер зв'язку може знизити пропускну здатність. Адаптивні завади також потенційно можуть ідентифікувати шаблони каналів синхронізації і змінювати свою стратегію для порушення зв'язку. Загалом, хоча канали синхронізації є альтернативою стрибкоподібній перебудові частоти, їхня ефективність залежить від точного виявлення і аналізу завад. Канали синхронізації можуть бути більш ефективними проти реактивних завад з регулярними періодами відсутності перешкод у каналі, ніж проти постійних перешкод. Необхідні подальші дослідження для розробки надійних конструкцій каналів синхронізації, стійких до навчання і динамічності противника. Це включає методи перевірки правильності моделей завад і швидкої адаптації синхронізації передачі при виявленні відхилень. Класифікація станів перешкод на основі машинного навчання може допомогти забезпечити надійність каналів синхронізації в умовах складних атак.

Також, як стратегія боротьби з перешкодами, досліджуються безпілотні літальні апарати (БПЛА). В основному вони виконують роль повітряних ретрансляторів, коли наземна інфраструктура порушується через перешкоди [123]. У цьому контексті БПЛА забезпечують альтернативний шлях зв'язку "повітря-земля", якщо наземна базова станція зазнає сильних перешкод. Мобільність і гнучкість розгортання БПЛА дозволяє відновлювати зв'язок навколо зон з перешкодами. Для динамічного визначення оптимального позиціонування та маршрутизації ретранслятора БПЛА було запропоновано методи глибокого навчання з підкріпленням. Проблема боротьби з перешкодами формулюється як марковський процес прийняття рішень, а логіка управління БПЛА вивчаються за допомогою глибоких Q-мереж або методів градієнта для максимізації стійкості зв'язку [124]. Досліджуючи різноманітні середовища перешкод за допомогою моделювання, БПЛА можуть навчитися інтелектуальним методикам для маневрів ухилення та уникнення перешкод.

Однак існують значні труднощі на шляху до ефективної боротьби з перешкодами на основі БПЛА за допомогою навчання з підкріпленням. БПЛА мають власні вразливості до перешкод через відкриті повітряні лінії зв'язку. Їх залежність від живлення від батареї також обмежує тривалу роботу. Доступність БПЛА як ретрансляторів також може бути обмежена в складних умовах з інтенсивними перешкодами. Крім того, навчання з глибоким підкріпленням залежить від отримання великих навчальних даних про різні сценарії перешкод. Навчання на основі моделювання має бути доповнене реальними даними про завади. Вивчені методики також потребують перевірки на ефективність і стійкість до непередбачуваних jamming атак.

Методи обробки сигналів МІМО представляють перспективний напрямок для зменшення впливу перешкод, що в свою чергу надає змогу зменшити збої в мережах 5G [125]. Використовуючи просторову селекцію, що забезпечується великими антенними решітками, методи формування променя можуть вибірково зменшувати перешкоди, зберігаючи при цьому зв'язок. Це забезпечує стійкість до перешкод без модифікації каналу зв'язку. Однак ефективність придушення завад залежить від отримання точних оцінок каналів перешкод для побудови фільтрів подавлення перешкод.

Розробниками запропоновано вдосконалені конструкції приймачів для оцінки характеристик каналу з перешкодами [126]. Явно оцінюючи як бажаний сигнал, так і канали завад, можна отримати лінійні приймальні фільтри для придушення сигналу перешкод. Однак, ефективність залежить від чистоти пілотного сигналу перешкоди і динамічності каналу. У цьому сенсі використання ітеративного уточнення оцінок каналів завад може бути необхідним проти складних атак.

Повсюдне використання програмного забезпечення в мережі 5G за допомогою SDN (software-defined networks) і NFV (network function virtualization) створює нові можливості для інтелектуального і динамічного уникнення завад за допомогою управління радіоресурсами. Такі методи, як управління потужністю, формування променя і планування, можуть бути адаптовані в режимі реального

часу на основі мережевих умов для пом'якшення впливу перешкод [127]. Наприклад, спільні алгоритми управління потужністю і планування були розроблені для оптимізації QoS в умовах дії завад з невідомим розташуванням [127]. Формулюючи оптимізаційні задачі для максимізації корисності та дотримання обмежень QoS, можна розподіляти ресурси для обходу перешкод.

Інтеграція глибокого навчання з програмним управлінням може ще більше підвищити швидкість реагування та якість оптимізації. Глибокі нейронні мережі дають можливість вивчати складну поведінку перешкод, щоб передбачати їх місцезнаходження та закономірності. На основі прогнозів завад розробляються алгоритми проактивного розподілу ресурсів. Однак ефективність глибокого навчання значною мірою залежить від отримання великих об'ємів даних про перешкоди в різних середовищах і типах атак.

Незважаючи на багатообіцяючі можливості, інтелектуальний захист від завад за допомогою планування і глибокого навчання має певні проблеми. Складність оптимізації зростає в геометричній прогресії при великих розмірах мережі. Адаптація в реальному часі може бути ускладнена затримками обчислень. Віртуалізація мережі також збільшує сферу дії атаки. Моделі прогнозування завад повинні використовувати ансамблеві підходи і змагальне навчання для підвищення надійності та узагальнення. Загалом, поєднання програмно-визначених мереж з машинним навчанням вимагає продовження досліджень для повної реалізації адаптивних і стійких комунікацій в умовах дедалі витонченіших перешкод. Тому важливо підкреслити важливість подальших досліджень у розробці ефективних методів боротьби з перешкодами, спеціально пристосованих до викликів, що виникають в мережах 5G NR. Ці методи повинні враховувати мінливий характер jamming атак і забезпечувати надійний захист, щоб гарантувати безпеку і надійність мереж 5G перед обличчям складних загроз перешкод.

3.2 Методи інтелектуального управління засобами заводозахисту систем радіозв'язку спеціального призначення

Метод синтезу раціональної топології систем радіозв'язку спеціального призначення

Завдання управління топологією систем радіозв'язку (СРЗ) полягає в забезпеченні передачі максимальної кількості повідомлень з необхідною якістю (достовірністю, оперативністю, надійністю та ін.).

Топологія визначає потенційні можливості СРЗ з доставки даних між вузлами, що взаємодіють [128-132]. Мобільність (відмови, знищення пакетів) вузлів призводить до різних мережевих конфігурацій топології. В таких умовах зміна топології мережі може мати більший ефект, на відміну від використання маршрутизації.

Метод синтезу раціональної топології СРЗ, розроблені до теперішнього часу, в основному використовують як вихідні дані обмежену кількість можливих варіантів радіоелектронної обстановки, які визначаються, як правило, на основі суб'єктивних оцінок осіб, що приймають рішення. Дослідження всього простору рішень при визначенні раціональної топології, як правило, ускладнене із-за занадто великого обсягу необхідних розрахунків і неможливості аналітичного описання цільової функції.

Генетичний алгоритм, використання якого запропоноване в дослідженні, дозволяє знайти раціональну топологію СРЗ з урахуванням варіанту ведення радіоелектронного придушення противника.

Розглянемо задачу управління топологією СРЗ як задачу інтелектуального управління [128-135].

Нехай середовище описується парою $X(t) = \{\Lambda(t), E(t)\}$, де $\Lambda(t)$ – контрольований стан СРЗ (потоки даних, пріоритетність абонентів, їх місце

підключення до СРЗ та ін.); $E(t)$ – її неконтрольований стан (перешкода, стан противника).

Аналогічно пара $B(t) = \{Y(t), H(t)\}$, що описує стан СРЗ: $Y(t)$ – її контрольований стан (середній час затримки пакетів в гілках мережі зв'язку, зв'язність СРЗ, ступінь навантаження вузлів комутації та ін.); $H(t)$ – неконтрольований стан (інтенсивність обслуговування пакетів в каналах та вузлах комутації та ін.).

В якості основного критерію ефективності СРЗ спеціального призначення візьмемо максимум її пропускну здатності $\max C$. Він визначений на контролюємих станах системи та середовища:

$$C(t) = C(\Lambda(t), Y(t)). \quad (1)$$

Стан СРЗ $Y(t)$ в свою чергу залежить від згаданих $\Lambda(t)$, $E(t)$, $H(t)$, а також від управління $U(t)$:

$$Y(t) = F(\Lambda(t), E(t), H(t), U(t)), \quad (2)$$

де F – оператор системи, $U(t)$ – вибір вирішального методу управління радіоресурсом, топологією, маршрутизацією, навантаженням, безпекою, та якістю обслуговуванням СРЗ $\bar{Y}(t) = \hat{O}(\bar{Y}(t))$, стан середовища $\Lambda(t)$ та цілей $Z^*(t)$

:

$$U(t) = U(\Lambda(t), \bar{Y}(t), Z^*(t)). \quad (3)$$

Для ефективного використання ресурсів СРЗ в вузлах необхідно передбачити можливість використання множини методів доступу до СРЗ. Застосування конкретного методу доступу буде визначатися параметрами інформаційного навантаження, поточної метою управління мережею, ситуацією на мережі (її зоні) і прийнятими рішеннями на інших рівнях еталонної моделі [128-134].

Вважаємо, що мета ведення радіоелектронного придушення противника відома, відповідно, з використанням, наприклад, методик [133, 135] визначений перелік вузлів СРЗ, що підлягають радіоелектронному придушення та визначені

їх пріоритети, тобто деяка числова характеристика важливості того чи іншого вузла СРЗ у досягненні мети радіоелектронного конфлікту противником.

Генетичний алгоритм заснований на ідеї еволюції за допомогою природного відбору та являє собою штучну імітацію таких властивостей живої природи, як природний відбір, пристосованість до змінюваних умов середовища, спадкоємність нащадками властивостей батьків і та ін.

Метод синтезу раціональної топології безпровідних самоорганізуючих мереж спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму, алгоритм реалізації якого подано на рис. 1 складається з наступної послідовності дій.

Введення вихідних даних (дія 1).

На даному етапі вводяться вихідні параметри мережі, кількість вузлів СРЗ, швидкість передачі інформації та початкова радіоелектронна обстановка.

Сутність генетичного пошуку полягає в циклічній заміні однієї популяції наступною, більш пристосованою. Можна вважати, що вся популяція складається в часі з дискретних поколінь $\Omega^{(0)}, \Omega^{(1)}, \Omega^{(2)}, \dots, \Omega^{(T)}$. Покоління $\Omega^{(t+1)}$ – це сукупність особин, батьки яких належать поколінню $\Omega^{(t)}$. Покоління $\Omega^{(0)}$ є початковою популяцією. Процес формування покоління $\Omega^{(t)}$ називається *ініціалізацією*. Кожне наступне покоління є результатом циклу роботи генетичного алгоритму.

Для кожної особини поточного покоління визначається значення цільової функції, яке характеризує пристосованість особини. У ході *відбору (селекції)* найменш пристосовані особини гинуть, а найбільш пристосовані дістають можливість відтворити нащадків у ході попарного *схрещування*. Це приводить до появи нових особин, які наслідують від батьків деякі властивості. Таким чином, з покоління в покоління, гарні властивості розповсюджуються по всій популяції. Для підвищення різноманітності пошуку і більш повного дослідження простору пошуку застосовується *мутація* – введення в популяцію нових особин. Зрештою, популяція збігатиметься до найбільш пристосованої особини (до оптимального рішення).

Для використання властивостей особин популяції у генетичному алгоритмі ці властивості подаються в закодованому вигляді – у вигляді *хромосоми*. Хромосома являє собою сукупність *генів*, кожний з яких зберігає певну властивість (ознаку, характеристику) особини. В залежності від того, які властивості необхідно закодувати і, відповідно, які значення можуть приймати гени, розрізняють бінарні, числові та векторні хромосоми, а в залежності від структури простору пошуку хромосоми можуть бути одно-, дво- або багатомірними. Таким чином, генетичні оператори (схрещування, мутації, відбору) здійснюють перетворення хромосом без використання інформації про внутрішню структуру об'єкта досліджень.

Представлення топології мережі у вигляді хромосоми (дія 2).

При застосуванні генетичного алгоритму для синтезу раціональної топології СРЗ необхідно представити цю топологію у вигляді хромосоми, яка по суті являє собою математичну модель СРЗ з відображенням її елементів та суттєвих зв'язків між ними.

Відомо [130], що достатньо адекватною для вирішування задачі дослідження топології СРЗ є математична модель, яка зображується у вигляді матриці інцидентності, у якій номери рядків відповідають номерам джерел інформації, а номери стовпців — номерам споживачів інформації. Елементи a_{ij} на перетині рядків та стовпців набувають значення характеристики інформаційного зв'язку, що з'єднує відповідне джерело інформації з відповідним споживачем(зауважимо, що одні і ті ж вузли можуть бути і джерелами, і споживачами інформації).

$$C = \begin{pmatrix} & \begin{matrix} \text{споживачі інформації} \\ 1 & 2 & 3 & \dots & J \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{джерела} \\ \text{інформації} \\ \dots \\ I \end{matrix} & \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1J} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{I1} & a_{I2} & a_{I3} & \dots & a_{IJ} \end{matrix} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

При числових розрахунках також виникає необхідність використання різновиду матриці інцидентності – ортонормованої матриці інцидентності, в якій

значення елементів можуть набувати значення 0 або 1. Така матриця може бути використана у тому випадку, якщо для дослідження є необхідність визначати наявність інформаційних зв'язків між відповідними елементами структури системи без визначення характеристики зв'язку.

Нескладно побачити аналогію між відображенням топології мережі у матрицю виду (4) та відображенням точки простору рішень у двомірну хромосому, що має місце у генетичному алгоритмі. Ортонормована матриця інцидентності (4) є двомірною хромосоною і може використовуватись для представлення топології СРЗ в генетичному алгоритмі.

Розвиваючи наведену вище аналогію, назвемо елементи матриці (4) генами, а декілька реалізацій матриці (4) з різними значеннями елементів (генів) – сукупністю хромосом, або популяцією. Зауважимо, що в загальному випадку структура хромосоми може бути і іншою. Це буде визначатись змістом задачі, що вирішується.

При визначенні числового значення характеристики зв'язків між елементами структури необхідно використовувати числові хромосоми, якщо ж визначається значення декількох характеристик зв'язку, необхідно використовувати векторну хромосому.

Пояснимо роботу окремих складових методу докладніше.

Ініціалізація початкової популяції (дія 3).

При ініціалізації початкової популяції $\Omega^{b(0)}$ випадковим чином створюються N_b хромосом – матриць виду (4). При цьому необхідно враховувати обмеження на вигляд матриць (4), що будуть визначатись характером задачі, що вирішується. Також обмеження на вигляд хромосоми повинні враховуватись при застосуванні оператора мутації, який полягає в заміні одного або декількох генів хромосоми, вибраної випадковим чином з множини $\Omega^{b(t)}$, на протилежне значення, що стосовно досліджуваної топології мережі означає створення або ж видалення зв'язків між її елементами.

В результаті у кожному циклі генетичного алгоритму формується популяція хромосом-мутантів $\Omega^{m(t)}$:

елементи стовбців – нулі;

інформація передається тільки на один вузол СРЗ – це означає, що у відповідних рядках матриці може бути тільки одна одиниця, інші елементи рядків – нулі;

вузол СРЗ може отримувати і обробляти дані не більше ніж від $N_{\text{ретр max}}$ вузлів-ретрансляторів СРЗ та передати інформацію не більше ніж $N_{\text{Взmax}}$ вузлам отримувачам.

Застосування операторів схрещування та мутації (дія 4)

При схрещуванні хромосоми поточної популяції $\Omega^{b(t)}$ випадковим чином розбиваються на пари. Оператор схрещування здійснює обмін генів хромосом кожної пари. В результаті формується популяція хромосом-нащадків $\Omega^{c(t)}$ чисельністю N_c . Схрещування потрібно виконувати з урахуванням обмежень на вигляд матриці (3), щоб в результаті не отримати хромосоми, відповідні яким структури створити неможливо. В прикладі, наведеному нижче (рис. 2), застосований блочний оператор схрещування для двомірних хромосом. При схрещуванні хромосоми здійснюють обмін генами, розташованими на ділянці, положення якої визначається випадковим чином з врахуванням наведених вище обмежень.

Розпізнавання варіанту дій РЕП та оцінка ефективності (дія 5) при варіанті топології $S \in \Omega^{\Sigma(t)}$, де $\Omega^{\Sigma(t)} = \Omega^{b(t)} \cup \Omega^{c(t)} \cup \Omega^{m(t)}$, здійснюється з використанням мультиагентного алгоритму, запропонованого в [137, 138]. На кожному t -му циклі роботи генетичного алгоритму для кожної хромосоми S множини $\Omega^{\Sigma(t)}$ розпізнається варіант дій РЕП та оцінюється його ефективність. Наступним кроком циклу генетичного алгоритму є *відбір* кращих N_b хромосом з популяції $\Omega^{\Sigma(t)}$ за значенням цільової функції (1). Отримані хромосоми утворюють нову популяцію $\Omega^{b(t+1)}$, яка являється початковою для наступного циклу генетичного алгоритму. Після виконання T циклів робота генетичного алгоритму припиняється.

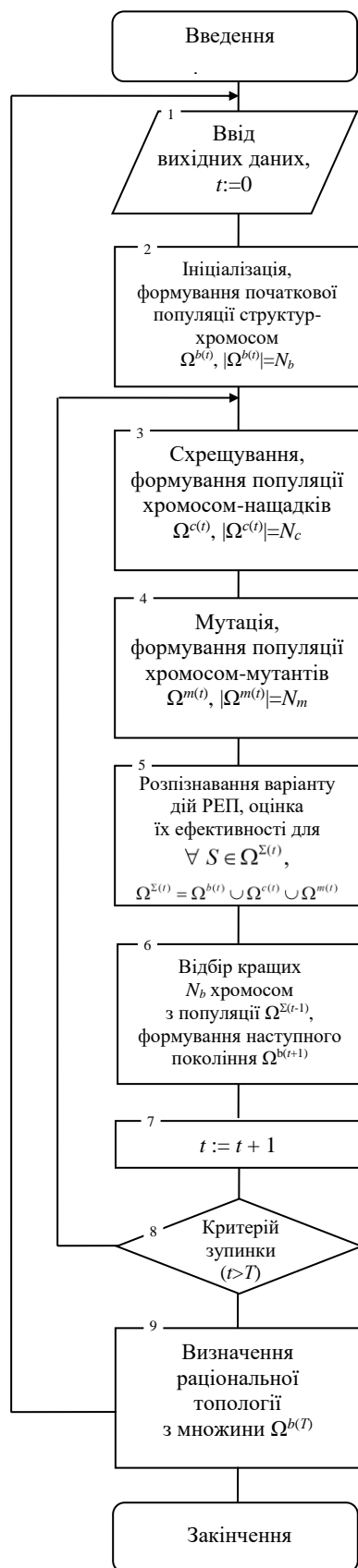


Рис. 1 Реалізація методу синтезу топології СРЗ з використанням генетичного алгоритму

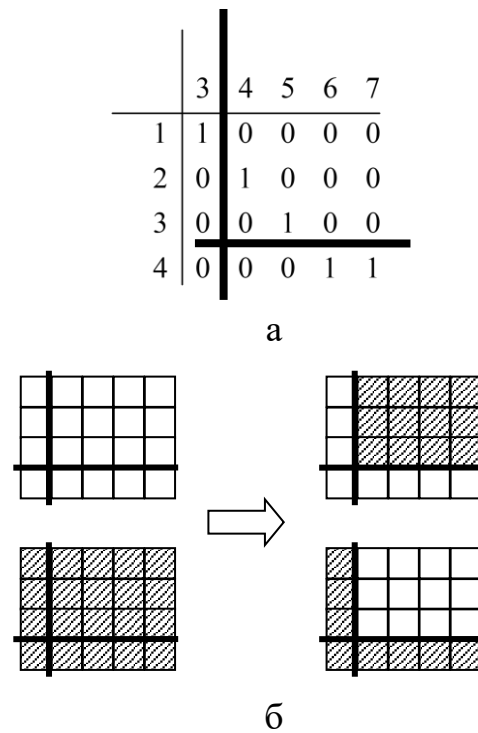


Рис. 2 Блочний оператор схрещування: а – визначення ділянки обміну генів двомірних хромосом; б – приклад застосування оператора схрещування

Проведення навчання СРЗ. Навчання системи відбувається на підставі одного з розроблених в роботах [133, 144] методів навчання.

Таким чином, буде виконана адаптація чи настроювання топології СРЗ в умовах невизначеності. Аналіз значень цільової функції (1) для отриманої множини хромосом $\Omega^{(T)}$ дозволяє визначити одну чи декілька раціональних топологій СРЗ.

Метод інтелектуального управління параметрами та режимами роботи систем радіозв'язку спеціального призначення в умовах складної радіоелектронної обстановки

Сутність новизни запропонованого методу в тому, що зазначений метод є сукупністю нових процедур, а саме [130, 131, 134, 136-154]:

процедури вибору робочих частот;

процедури вибору топології радіомережі;

процедури вибору маршруту передачі інформації;

процедури вибору режиму роботи засобів радіозв'язку.

Зазначені процедури в комплексі дозволяють проводити управління каналними та мережевими ресурсами. Кожна з перелічених вище процедур зазначеного методу є удосконаленою.

Розглянемо основні процедури методу інтелектуального управління параметрами СРЗ спеціального призначення.

1. Введення початкових даних. Вводяться дані СРЗ $\Psi = \{\psi_i\}$, а також значення допустимої величини ймовірності бітової помилки $P_{б\text{ доп}}$ та мінімально швидкості передачі інформації $v_{i\text{ доп}}$ для кожного з елементів системи радіозв'язку та допустимого навантаження в СРЗ.

2. Оцінка радіоелектронної обстановки.

Проводиться оцінювання радіоелектронної обстановки на ділянках мережі – вузлами-координаторами за сусідні вузли. На радіонапрямах – вузлами, що здійснюють передачу інформації за допомогою методу, що розроблений в третьому розділі дисертаційного дослідження [130, 131, 134, 136-154].

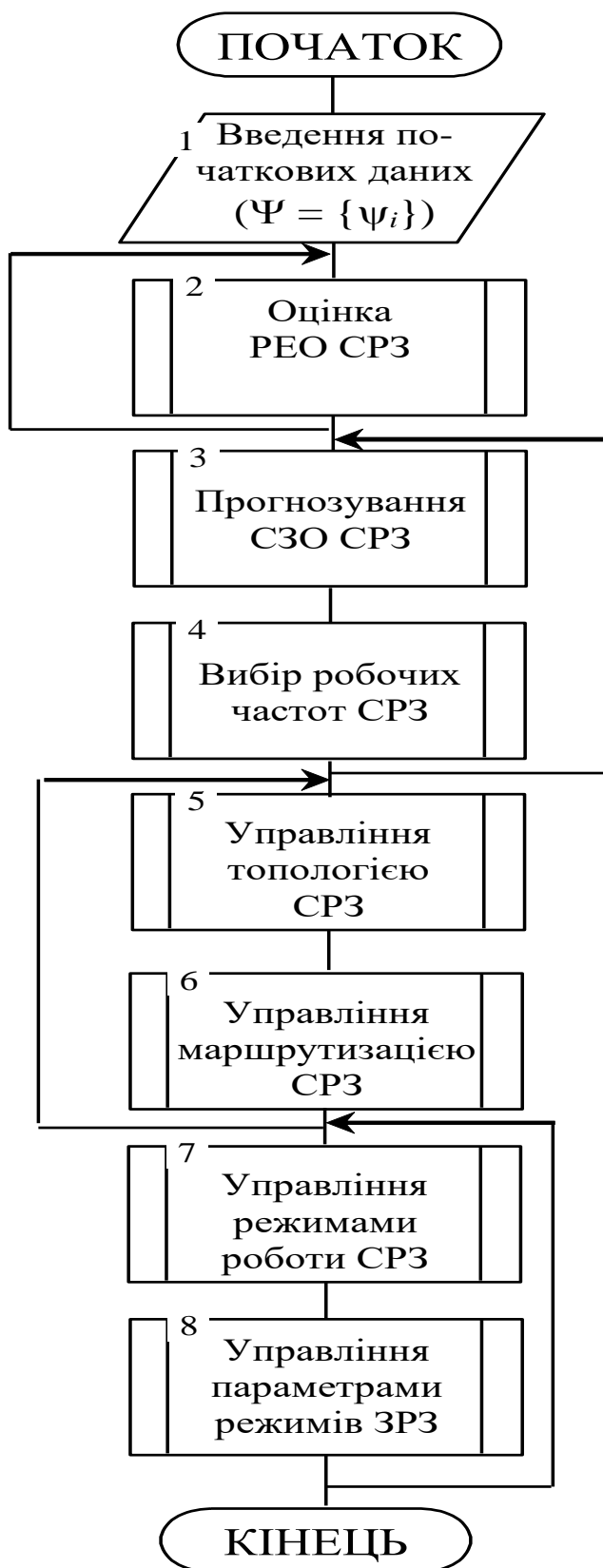


Рис. 3 Алгоритм методу інтелектуального управління параметрами СРЗ

3. Прогнозування стану радіоелектронної обстановки.

В основу даної процедури покладений метод оцінки та прогнозування стану СРЗ спеціального призначення, що розроблений в розділі 3 дисертаційного дослідження.

4. Вибір робочих частот СРЗ.

Проводиться аналіз радіочастотного ресурсу. Зазначена процедура відрізняється від відомих, тим що вибір робочих частот відбувається наступним чином:

визначення кількості придушених частотних діапазонів та ступеню їх придушення (коефіцієнтів перекриття стану каналу). Тобто якщо частотний канал придушений повністю то він відсіюється та вважається таким, що він не придатний для передачі інформації, якщо частково – на ньому можливо проводити передачу інформації з мінімальною пропускну здатністю з використанням високоенергетичних сигнально-кодових конструкцій, а якщо канал вільний від перешкод то передача інформації відбувається з використанням високошвидкісних сигнальних конструкцій;

визначаються еліпси суцільного придушення та зони порушення роботи засобів радіозв'язку;

з використанням методу нелінійного програмування визначаються стратегії комплексів радіоелектронного придушення противника;

на підставі даних отриманих після процедури прогнозування стану радіоелектронної обстановки проводиться вибір робочих частот.

На підставі зазначеної інформації відбувається формування раціональної топології СРЗ.

5. Формування топології СРЗ відбувається на підставі методу, що наведений в розділі 1 дослідження.

6. Управління маршрутизацією в СРЗ спеціального призначення.

Пошук найкоротшого шляху між парою точок є NP-важкою проблемою, яка вимагає перерахування всіх можливих маршрутів. Крім того, більшість користувачів сьогодні потребують не тільки маршрути з найменшою кількістю

переходів (хопів) до адресату, але їй потребують маршрутів, які можуть задовольнити інші важливі потреби. Таким користувачам найчастіше потрібно забезпечувати підтримку QoS, мати можливість враховувати енергетичну складову [130, 131, 134, 136-154, 156-181] у зв'язку з тим, що в СРЗ спеціального призначення може бути значна кількість вузлів які працюють на акумуляторних батареях, врахування швидкості каналу зв'язку, час затримки між відправником пакету та його адресатом, кількість наявних маршрутів, надійність доставки пакету відповідним маршрутом.

Загальна структура запропонованої процедури маршрутизації складається з чотирьох основних компонентів [130, 131, 134, 136-154, 156-181], таких як: система підтримання маршрутів, система пошуку маршрутів, система прийняття рішення направлення IP пакетів та система пам'яті з якою взаємодіють всі вищезазначені системи.

Запропонована процедура використовує комбінацію алгоритму нечіткої логіки (FL) і систему колоній мурашок (ACS) для пошуку оптимального маршруту між парою вузлів NS/ND. Оптимальний маршрут відноситься до маршруту, який задовольняє всі бажані параметри необхідні для вибору кращого маршруту. Такими параметрами є: "QoS", "швидкість каналу", "надійність доставки пакетів", "енергетична складова", "час затримки End to End Delay" та "кількість наявних маршрутів" (рис. 4).

Основними кроками алгоритму визначення відправки IP пакету до вузла призначення процедури маршрутизації в СРЗ спеціального призначення є:

Крок 1. Збір даних стану вузлів в мережі до кешу стану вузлів в СРЗ.

Крок 2. Отримання запиту на відправку пакету до вузла призначення.

Крок 3. Перевірка наявності маршруту до вузла призначення. У разі відсутності маршруту в таблиці маршрутизації системою пошуку маршруту виконується пошук маршруту до вузла призначення (крок 4).

Крок 4. Система пошуку маршруту виконує запит пошуку маршруту.

Крок 5. У разі отримання відповіді на запит маршруту відбувається запис маршруту до кешу стану вузлів в СРЗ.

Крок 6. Фазифікація та дефазифікація показників маршруту.

Крок 7. Виконується пошук маршруту.

Крок 8. Формування бази даних маршрутів

Крок 9. Система прийняття рішення направлення IP пакетів з урахуванням наявних маршрутів в базі даних маршрутів приймає рішення щодо відправки IP пакету відповідним маршрутом до вузла призначення з врахуванням QoS.

Крок 10. Відправлення IP пакету до вузла призначення.

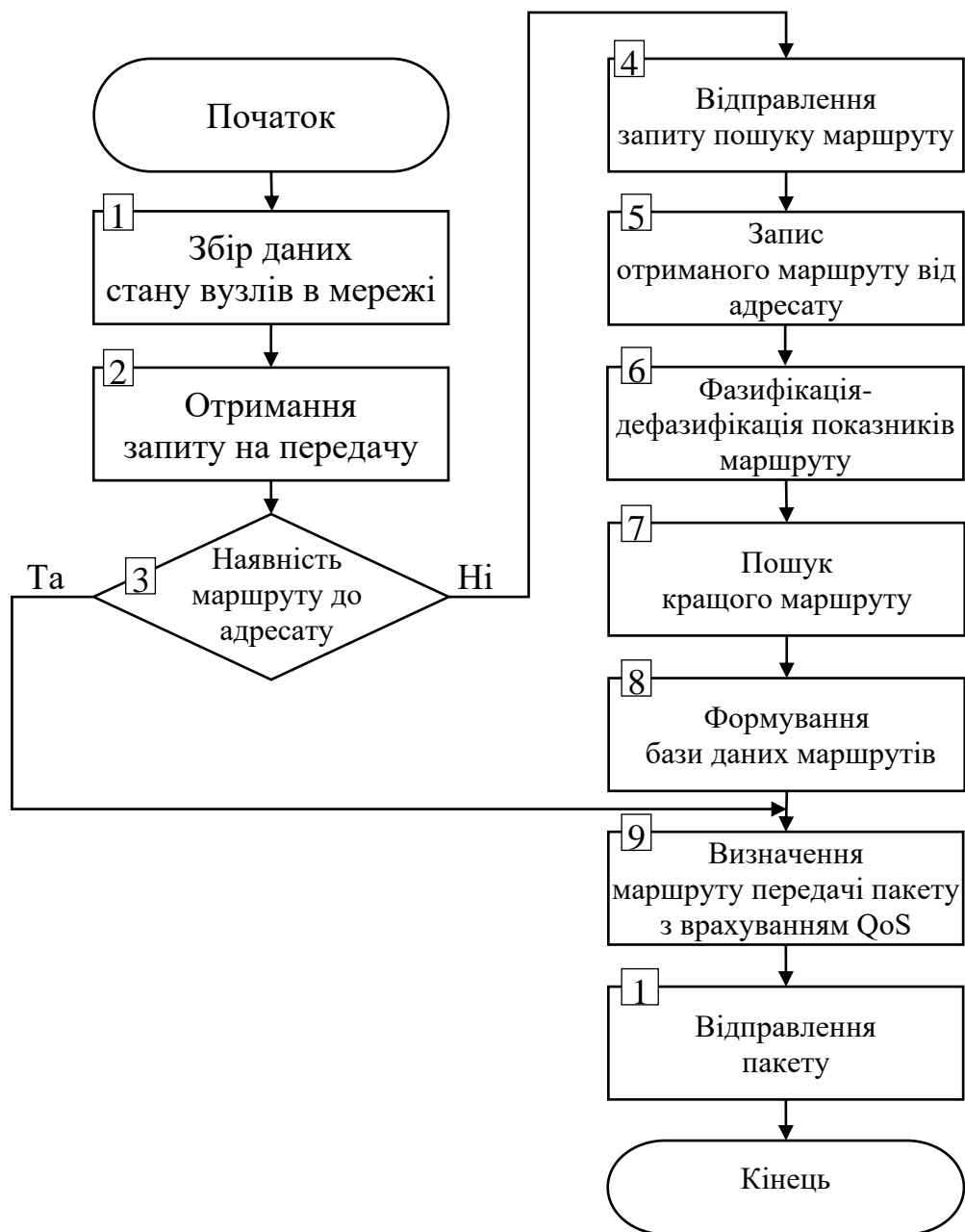


Рис. 4 Опис процедури маршрутизації в СРЗ спеціального призначення

Нечітка нейронна мережа (NFS – neuro-fuzzy system), запропонована для визначення маршрутів складається з п'яти шарів: функція лінійної передачі, фазифікації, операції «та», нечіткий умовивід та дефазифікація.

Шар 1. Функція лінійної передачі, тобто отримання показників вузлів в СРЗ призначення параметрів з прийнятих IP пакетів. А саме: швидкість передачі інформації, час передачі пакету до вузла призначення, рівень заряду батареї вузла, надійність доставки IP пакету.

За показник швидкості передачі інформації P_{speed} береться мінімальна швидкість передача інформації радіозв'язності між вузлами з усього маршруту, тобто

$$P_{speed} = \min V_{ij_{speed}}, \quad (5)$$

де V_{ij} – вузол, що приймає участь в передачі пакету на маршруті ij .

За показник заряду батареї, також визначається мінімальний заряд батареї на вузлі, який задіяний у маршруті

$$P_{power} = \min V_{ij_{power}}. \quad (6)$$

Затримка доставки пакету є сумою часу доставки IP пакету всіх проміжних вузлів та таким чином показує час доставки пакету до вузла призначення на маршруті в цілому

$$P_{delay} = \sum_{i=1}^N V_{i_{delay}}. \quad (7)$$

Показником надійності передачі IP пакету є ймовірнісним показником передачі пакету вздовж всього маршруту

$$P_{reliability} = \prod_{i=1}^N V_{i_{reliability}}. \quad (8)$$

Шар 2. Процес фазифікації для переходу від чіткого значення параметрів до нечіткого значення деякої лінгвістичної змінної. Для досягнення адаптивності протоколу маршрутизації до змін в мережі враховуються мінімальні та максимальні значення параметрів бази даних стану вузлів.

$$\xi_{ij_{speed}} = S(i, j, t), \text{ де } 0 \leq q \leq 1, 0 = \min P_{speed}, 1 = \max P_{speed}, \quad (9)$$

$$\xi_{ij_{power}} = P(i, j), \text{ де } 0 \leq q \leq 1, 0 = \min P_{power}, 1 = \max P_{power}, \quad (10)$$

$$\xi_{ij_{delay}} = S(i, j, t), \text{ де } 0 \leq q \leq 1, 0 = \min P_{delay}, 1 = \max P_{delay}, \quad (10)$$

$$\xi_{ij_{reliability}} = S(i, j, t), \text{ де } 0 \leq q \leq 1, 0 = \min P_{reliability}, 1 = \max P_{reliability}. \quad (12)$$

Кожен вузол цього шару представляє один терм функції належності. Побудова функцій належності для всіх чотирьох параметрів відповідно до рівнянь:

$$\mu_{Low}(x) = \max\left(0, \min\left(1, \frac{\Delta - x}{\Delta}\right)\right), \quad (13)$$

функція належності визначає слабке (Weak) та середнє (Medium) значення параметру

$$\mu(k, x) = \max\left[0, \min\left[\frac{x - \Delta \cdot (k - 1)}{\Delta}, \frac{\Delta \cdot (k + 1) - x}{\Delta}\right]\right], \quad (14)$$

функція належності, що визначає високе (High) значення параметру

$$\mu_{High}(x) = \min\left(1, \max\left(0, \frac{x - (N - 1)\Delta}{\Delta}\right)\right). \quad (15)$$

де $N = 3$, $\Delta = \frac{1}{N}$, $\mu(1, x) \equiv \mu_{Weak}(x)$, $\mu(2, x) \equiv \mu_{Medium}(x)$.

Побудова функцій належності, що визначають загальну метрику маршруту тобто рівень феромону який буде залишати мураха після кожного проходу матиме вид:

$$\mu_{ph1}(x) = \max\left(0, \min\left(1, \frac{\Delta - x}{\Delta}\right)\right), \quad (16)$$

$$\mu(k, x) = \max\left[0, \min\left[\frac{x - \Delta \cdot (k - 1)}{\Delta}, \frac{\Delta \cdot (k + 1) - x}{\Delta}\right]\right], \quad (17)$$

$$\mu_{ph13}(x) = \min\left(1, \max\left(0, \frac{x - (N - 1)\Delta}{\Delta}\right)\right), \quad (18)$$

де $N = 12$; $\Delta = \frac{1}{N}$; $\mu(1, x) \equiv \mu_{ph2}(x)$, $\mu(2, x) \equiv \mu_{ph3}(x)$, $\mu(3, x) \equiv \mu_{ph4}(x)$,

$\mu(4, x) \equiv \mu_{ph5}(x)$, $\mu(5, x) \equiv \mu_{ph6}(x)$, $\mu(6, x) \equiv \mu_{ph7}(x)$, $\mu(7, x) \equiv \mu_{ph8}(x)$,

$\mu(8, x) \equiv \mu_{ph9}(x)$, $\mu(9, x) \equiv \mu_{ph10}(x)$, $\mu(10, x) \equiv \mu_{ph11}(x)$, $\mu(11, x) \equiv \mu_{ph12}(x)$,
 $\mu(12, x) \equiv \mu_{ph13}(x)$ – функції рівня феромону.

Шар 3. Кожна нечітка система реалізується у вигляді нечітких правил. Нечіткі правила виконує логічні операції “та” чи “або” . Даний шар мережі має кількість вузлів відповідну до кількості операцій “та”. Так для повного перебору 4 параметрів, кожен з яких має по 4 терми необхідно 256 нейронів, що відповідають усім можливим варіаціям термів параметрів.

якщо $P_{speed} \in A_x$ та $P_{power} \in B_x$ та $P_{delay} \in C_x$ та $P_{reliability} \in D_x$ то , (19)

де A_x, B_x, C_x, D_x – функції належності визначені відповідно на $P_{speed}, P_{power}, P_{delay}, P_{reliability}$. Тобто на вході нейрон третього шару матиме вид:

If I_1 is Low and I_2 is Low and I_3 is High and I_4 is Low then . (20)

На виході нейрона третього шару відбувається агрегування передумов нечітких правилах та визначається за виразом, що є логічною кон'юнкцією, якщо $\mu_g = \mu(P_{speed} \cap P_{power} \cap P_{delay} \cap P_{reliability})$ то:

$$\mu_g = \min \{ \mu(P_{speed}), \mu(P_{power}), \mu(P_{delay}), \mu(P_{reliability}) \} . \quad (21)$$

Шар 4. Є активізація висновків нечіткого правила. На четвертому рівні на кожній з відповідних вхідних комбінацій які були на вході визначається конкретний вихід. Так для прикладу нейрон четвертого шару буде мати вигляд:

If I_1 is Low and I_2 is Low and I_3 is High and I_4 is Low then O is Ph1. (22)

Шар 5. Нечіткий результат, який є результатом висновків, перетворюється на реальне значення, яке може використовуватися як керуючий вхід. Оскільки бажаний вихід є невиразним результатом, то кількісне значення керуючого виходу визначається шляхом дефазифікації. В процедурі використовується метод центру тяжіння. Визначення центру тяжіння вираховується за виразом

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x_i \cdot \mu(x) \cdot dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) \cdot dx} , \quad (23)$$

де u – результат дефазифікації, x – вихідна лінгвістична змінна ω , $\mu(x)$ – функцією приналежності нечіткої множини, яка відповідає вихідній змінній ω після етапу акумуляції, \min , \max – правою та лівою точкою інтервалу носія нечіткої множини вихідної змінної ω .

Шар 6. Є функція активації нейронів часто є неперервною і нелінійною функцією, яка називається сигмоподібною функцією і визначається як

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(ax^2)}, \quad (24)$$

де a – константа та $a \geq 0$.

Процедура пошуку маршруту на основі нечіткої логіки та системи мурашиних колоній, що має наступні кроки:

Крок 1. *Ініціалізація*. Вона складається з початкових значень параметрів алгоритму, таких як кількість мурах, коефіцієнт випаровування феромону, швидкість передачі інформації, заряд батареї, час передачі пакету, надійність передачі пакету.

Крок 2. *Початкове виставлення мурах*. На цьому етапі мурахи розташовуються на початкових точках з яких відбуватиметься ітерація. Активний мурашка відноситься до мурашки, який ще не прибув до місця призначення і не заблокований на вершинах (вузлах). Оскільки кожен мураха може проходити кожну вершину (вузол) один раз в кожній ітерації, мураха блокується в місці з'єднання, коли він не має шансів продовжити свій перехід до пункту призначення і не має можливого шляху для переміщення назад.

Крок 3. *Побудова ймовірних маршрутів*. На цьому етапі ймовірність кожного можливого прямого маршруту обчислюється на основі його функції витрат для кожної активної мурахи. Ймовірнісний перехід мурашок між вузлами також може бути заданий як правило переходу вузла. Ймовірність переходу k -ю мурахою від вузла i до вузла j задається:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{h \notin \text{tabu}_k} (\tau_{ih})^\alpha (\eta_{ih})^\beta} & j \notin \text{tabu}_k, \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (25)$$

де τ_{ij} та η_{ij} інтенсивність феромонів і вартість маршруту між вузлами i та j , відповідно. Відносне значення τ_{ij} та η_{ij} контролюються параметрами α та β , відповідно. tabu_k це список недоступних маршрутів (відвіданих вузлів) для мурахи k .

Крок 4. *Вибір маршруту*. Випадковий параметр $0 \leq q \leq 1$ з однаковою ймовірністю порівнюється з параметром Q , де $0 \leq Q \leq 1$. Результат порівняння між Q і q бере один з двох методів вибору активною мурахою маршрут наступного переходу таким чином:

$$j = \begin{cases} \arg \max (p_{ih}^k) & q > Q, \\ \text{Колесо рулетки} (p_{ih}^k) & \text{інакше.} \end{cases} \quad (26)$$

Якщо q більший Q , активний мураха вибирає маршрут з найбільшою ймовірністю, інакше, правило колеса рулетки вибирається для вибору наступного переходу через ймовірності.

Крок 5. *Оновлення списку Tabu*. На цьому етапі маршрут (вибраний вузол), який мурахою k було вибрано, додано до переліку в таблиці. Це направлення не буде повторно обрано, а його ймовірність більше не обчислюється.

Якщо мураха k дійшла до пункту призначення або була заблокована на вершині (вузлі), цей крок деактивує заблоковану чи прибувшу у поточній ітерації мураху.

Крок 6. *Оновлення феромону*.

Система феромонів ACS складається з двох основних правил: спочатку застосовується під час побудови рішень (локальне правило оновлення феромонів), а друге правило застосовується після того, як всі мурашки закінчили побудову рішення (правило оновлення глобальної феромони). Сума феромонів маршруту між переходами i та j оновлюється для k -ї мурашки як:

$$\tau_{ij}^{new} = \tau_{ij}^{old} + (10 \times \Delta\tau) \quad (27)$$

де $\Delta\tau$ – кількість місцевого оновлення феромонів. Значенням $\Delta\tau$ є вихідна система FL.

Кеш тимчасових маршрутів містить інформацію про маршрутизацію необхідну для вузла.

База знань зберігає всі вивчені маршрути з показниками залишкового заряду батареї, швидкості передачі даних, час затримки на маршруті, надійності маршруту, завантаженості маршруту та кількості ретрансляцій (хопів). База даних наповнюється шляхом вивчення інформації про маршрут з пакетів передачі даних, та з пакетів запиту маршрутів.

На основі бази знань відбувається формування таблиці маршрутизації.

Відбувається формування вартості маршруту за допомогою нечіткої логіки, використовуючи модифікований алгоритм мурашиних колоній виконується пошук найкращого маршруту, та в подальшому знайдені маршрути записувати до таблиці маршрутизації.

До таблиці маршрутизації записуються не більше чотирьох наявних маршрутів. У разі перевищення кількості маршрутів до вузла призначення вибираються шляхом ранжування кращі чотири маршрути. Наявність декількох маршрутів в таблиці маршрутизацію дає змогу робити балансування завантаженості маршрутів.

7. Вибір режиму роботи ЗРЗ (дія 7).

Для вибору режиму роботи ЗРЗ пропонується використовувати енергетичну та частотну складову використання ресурсів системи (їх ефективності). Границі між енергетичною та частотною ефективністю не задовольняють вимогам для зміни режиму роботи, тому для уточнення пропонується ввести додатковий показник, а саме важливість радіоелектронної обстановки.

Згортка часткових критеріїв якості до загального здійснюється з використанням певної схеми компромісів, яка визначає конкретний принцип оптимальності

$$F_{opt} = \max F(\text{Im}, \beta_E, C), \quad (28)$$

де F_{opt} – режим роботи засобу радіозв'язку, I_m – коефіцієнт важливості радіоелектронної обстановки.

Відповідно до [160-162] важливість показників РЕО можна розглядати як неметричний критерій корисності (НКК).

В якості робочих режимів обрано гібридні режими роботи на основі багатоантенних систем, а саме:

MIMO-OFDM (Multiple-Input Multiple-Output with Orthogonal Frequency Division Multiplexing);

MIMO-UWB (Multiple-Input Multiple-Output with Ultra wideband signal);

MIMO-FHSS (Multiple-Input Multiple-Output with Frequency-Hopping Spread Spectrum).

Неметричні часткові критерії корисності (НЧКК), які мають характеризувати режим роботи виступають:

частотна ефективність ЗРЗ (β_F);

пропускна спроможність, ступінь використання радіочастотного ресурсу засобами РЕБ

Представимо основні НЧКК за допомогою кількісних характеристик (табл.1).

Таблиця 1– НЧКК для вибору режиму роботи ЗРЗ

НЧКК	Кількісна характеристика показника	Області зміни показників	Показники, що враховуються при визначенні важливості РЕО
β_E	Енергетична ефективність ЗРЗ	0,1-0,4	MIMO-OFDM
		0,401-0,79	MIMO-UWB
		0,801-1,0	MIMO-FHSS
C	Пропускна спроможність	0,81-1,0	MIMO-OFDM
		0,41-0,79	MIMO-UWB
		0,1-0,4	MIMO-FHSS
X_{PEB}	ступінь використання радіочастотного ресурсу засобами РЕБ	0,1-0,8	Перешкоди в частині смуги
		0,801-1	Загороджувальні перешкоди

НЧКК	Кількісна характеристика показника	Області зміни показників	Показники, що враховуються при визначенні важливості РЕО
Im	Важливість РЕО	0,1-0,4	Низький
		0,401-0,79	Середній
		0,801-1,0	Високий

8. Вибір параметрів сигналу для режиму роботи (дія 8).

Для кожного з режимів, проводиться вибір раціональних значень параметрів сигналу, де здійснюється початкове введення параметрів ЗРЗ та каналу зв'язку, відбувається вибір раціональних значень параметрів для кожного з режимів.

Метод комплексного управління ресурсами систем зв'язку спеціального призначення

Пропонується проводити наскрізне управління ресурсами СРЗ спеціального призначення з відносним дотриманням ієрархії на кожному з рівні еталонної мережевої моделі взаємодії відкритих систем OSI. Під ресурсами СРЗ спеціального призначення розуміється управління [130, 131, 134, 136–181]:

- просторовим ресурсом;
- часовим ресурсом;
- частотним ресурсом;
- резервом ЗРЗ.

До дестабілізуючих факторів відноситься:

- перешкоди навмисного походження;
- природні завади;
- кібератаки, направлені на відмову в обслуговуванні;
- вогневе ураження елементів системи зв'язку спеціального призначення.

Метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення складається з наступної послідовності дій (рис. 5).

1. *Введення вихідних даних.* Вводяться вихідні дані про стан СРЗ спеціального призначення, вид операції угруповання військ (сил), а також завдання з організації зв'язку в угрупованні військ (сил).

2. Введення інформації про ступінь апріорної невизначеності про стан СРЗ.

На даному етапі відбувається визначення ступеню невизначеності даних про стан СРЗ спеціального призначення на підставі робіт [144–149, 156]. Можливі ступені невизначеності інформації про стан СРЗ спеціального призначення: повна обізнаність, часткова невизначеність, повна невизначеність.

3. Визначення управляючих впливів на СРЗ спеціального призначення.

На даному етапі на підставі опису стану СРЗ спеціального призначення визначаються управляючі впливи на фізичному, каналному та мережевому рівнях системи зв'язку спеціального призначення. В основу зазначеної процедури удосконаленого методу покладені розроблені в попередніх дослідженнях підходи [129, 130, 144, 145, 164].



Рис. 5. Алгоритм реалізації методу комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення

4. *Прогнозування стану СРЗ спеціального призначення.* На даному етапі відбувається прогнозування стану СРЗ спеціального призначення з визначеним складом сил та засобів зв'язку. Прогнозування стану СРЗ спеціального призначення на даному етапі відбувається за допомогою розробленого в попередніх дослідженнях підходів [129-147, 149-160].

5. *Визначення необхідних сил та засобів зв'язку, які необхідні для нарощування СРЗ спеціального призначення.*

Прийняття рішення про нарощування складу сил та засобів зв'язку угруповання військ (сил) приймається після неможливості вирішення завдань з організації зв'язку у існуючій організаційно-штатній структурі після дії 4.

Розглянемо детальніше зазначену процедуру визначення необхідних сил та засобів зв'язку в СРЗ спеціального призначення. Завдання синтезу інформаційної технології управління процесами скоординованого функціонування та комплексного управління ресурсами систем спеціального призначення може бути сформульована як “завдання пошуку оптимальних керуючих впливів”. Зазначені завдання переводять СРЗ спеціального призначення, що розглядається, із заданого в необхідний структурний стан, що характеризує як поточний стан об'єктів, що входять в заданий тип структури, і стан відносин поміж них.

Таким чином, необхідно значення стану існуючої та “нової” системи зв'язку угруповання військ (сил) $СТС < U^t, S_{\delta}^{*tf} >$ при яких [130, 134, 136, 145, 159]:

$$J_{\theta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{<\chi,\chi'>}^t, \Pi_{(\delta,\delta)}^t, t \in (t_0, t_f] \right) \rightarrow \underset{<U^t, S_{\delta}> \in \Delta_g}{extr}^{*tf}$$

$$\Delta_g \left\{ < U^t, S_{\delta}^{*tf} > \left| R_{\beta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{<\chi,\chi'>}^t, \Pi_{(\delta,\delta)}^t \right) \leq \tilde{R}_g \right. \right\} \quad (29)$$

$$U^t = \Pi_{<\delta_1, \delta_2>}^{t_1} \circ \Pi_{<\delta_2, \delta_3>}^{t_2} \Pi_{<\delta, \delta>}^{t_f}; \beta \in \mathbf{B},$$

де J_{θ} – вартісні, часові, ресурсні показники, що характеризують якість функціонування СРЗ спеціального призначення; $\theta \in \Theta$ – множина номерів показників; χ – множина індексів, що відповідають структурам СРЗ спеціального призначення; $T \in (t_0, t_f]$ – інтервал часу, на якому функціонує СРЗ та реалізується

процес організації зв'язку; $X_{\chi}^t = \{X_{\chi l}^t, l \in L_{\chi}\}$ – множина елементів, що входять до складу структури динамічного альтернативного системного графа (ДАСГ) G_{χ}^t (множина вершин ДАСГ), за допомогою якого задається керована структурна динаміка СРЗ спеціального призначення в момент часу t ; $\Gamma_{\chi}^t = \{\chi_{\langle \chi l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$ – множина дуг ДАСГ типу G_{χ}^t , відображають взаємозв'язки між його елементами в час t ; $Z_{\chi}^t = \{z_{\langle \chi l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$ – множина значень параметрів, кількісно характеризують взаємозв'язок відповідних елементів ДАСГ; $F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t$ – опис впливу різних структур СРЗ спеціального призначення один на одного в момент часу t ; $\prod_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t$ – композиції структурного стану СРЗ спеціального призначення з номерами $\tilde{\delta}, \tilde{\delta}$ в момент часу t ; Δ_g – множина динамічних альтернатив (множина структур та параметрів СРЗ спеціального призначення, “нової” та існуючої СРЗ спеціального призначення, а також множина програм їх функціонування); U^t – управляючі впливи, що дозволяють синтезувати структури СРЗ спеціального призначення, що нарощується і впроваджується; \tilde{R}_g – задані величини; «o» – операція композиції відображень; \mathbf{B} – множина номерів просторово-часових, технічних та технологічних обмежень, що визначають процеси реалізації програм нарощування та функціонування системи зв'язку спеціального призначення [130, 134, 136, 145, 159].

На етапі нарощування насамперед відбувається зміна параметрів функціонування елементів та підсистем СРЗ спеціального призначення.

У дослідженні пропонується розглянути СРЗ спеціального призначення як складний динамічний об'єкт, що складається з сукупності структур. Зв'язок між якими відбувається шляхом передачі інформації про статус операцій, інтенсивності потоків передачі та обробки даних, а також інформації про стані різних ресурсів, сервісів та базових послуг. Подібний підхід дозволяє представити етап паралельного функціонування та нарощування СРЗ спеціального призначення як процес оновлення (покращення характеристик) інформаційних послуг, що підтримують СРЗ спеціального призначення.

Представимо процес програмного управління нарощуванням системи зв'язку спеціального призначення:

$$\frac{dx_n^{(s,l)}}{dt} = \sum_{r=1}^{p_s} u_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (30)$$

$$\frac{dx_n^{(s,l)}}{dt} = \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t); \quad (31)$$

$$\frac{dx_{rS_l}^{(s,l)}}{dt} = \omega_{rS_l}^{(s,l)}(t). \quad (32)$$

Обмеження на керуючі дії:

$$0 \leq u_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \left[e_{nr}^{(s,l)} \left(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right) + \bar{e}_{nr}^{(j)} \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right] w_{nr}^{(s,l)}; \quad (33)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} V_n^{(s,l)} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \left[V_r^{(j)} \left(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right) + \bar{V}_r^{(j)} \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right]; \quad (34)$$

$$\sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} u_n^{(s,l)}(t) \leq \left[P_r^{(j)} \left(1 - \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right) + \bar{P}_r^{(j)} \gamma_r^{(m,\delta)}(t) \right]; \quad (35)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)}(t) \left[\sum_{\pi \in G_c} \left(\alpha_{\pi}^{(s,l)} - x_{\pi}^{(s,l)} \right) + \sum_{k \in G_c} \left(\alpha_k^{(m,r)} - x_k^{(m,r)} \right) \right] = 0, \forall l; \quad (36)$$

$$\sum_{r=1}^{p_s} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \varepsilon_n, \forall n; \sum_{n=1}^{m_j} w_{nr}^{(s,l)}(t) \leq \theta_r, \forall r; \quad (37)$$

$$\omega_{rS_l}^{(s,l)} \left(a_{S_l}^{(s,l)} - x_{S_l}^{(s,l)} \right) = 0; \quad (38)$$

$$w_{nr}^{(s,l)} \in \left\{ 0, u_{vln}^{(b,j)} \right\}; \gamma_r^{(m,\delta)}(t), \omega_{rS_l}^{(s,l)} \in \{0, 1\}. \quad (39)$$

Крайові умови:

$$\text{для } t = t_0 : x_n^{(s,b)}(t_0) = x_r^{(s,l)}(t_0) = x_{rS_l}^{(s,l)}(t_0) = 0; \quad (40)$$

$$\text{для } t = t_f : x_n^{(s,l)}(t_f) = a_n^{(s,l)}; x_r^{(s,l)}(t_f), x_{rS_l}^{(s,l)}(t_f) = x_{rS_l}^{(s,l)}(t_0) \in \mathbf{R}^1.$$

Показники якості програмного управління нарощуванням СРЗ спеціального призначення:

$$J_4 = \sum_{n=1}^{m_j} \sum_{r=1}^{p_s} \int_{t_0}^{t_f} \delta_{nr}^{(s,l)}(\tau) \cdot w_{nr}^{(s,l)}(\tau) d\tau; \quad (41)$$

$$J_5 = \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{r=1}^{p_s} \sum_{n=1}^{m_j} \int_{t_0}^{t_f} c_{nr}^{(s,l)}(\tau) w_{nr}^{(s,l)}(\tau) d\tau; \quad (42)$$

$$J_6 = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^{k_v} \sum_{n=1}^{m_j} (\alpha_n^{(s,l)} - x_n^{(s,l)}(t_f))^2. \quad (43)$$

У співвідношеннях (4.30) –(4.43) прийнято такі позначення:

$x_r^{(s,l)}$ – змінна характеризує стан виконання операції надання необхідних інформаційних послуг для виконання завдань зв'язку $A_v^{(b,j)}$; Верхній індекс «s» означає, що відповідна змінна входить до складу моделі програмного управління нарощуванням СРЗ спеціального призначення.

Верхній індекс «l» означає операцію службову інформацію СРЗ спеціального призначення, який “споживає” інформаційний сервіс (послугу).

$u_{nr}^{(s,l)}(t)$ – інтенсивність підтримки, $F_{<n,r>}^{(s,l)}$ операції сервісу (внутрішнього сервісу) ресурсом СРЗ спеціального призначення $B_r^{(s,l)}$;

$x_r^{(s,l)}$ – змінна, поточне значення якої чисельно дорівнює загальній тривалості залучення ресурсів СРЗ спеціального призначення $B_r^{(s,l)}$;

$w_{nr}^{(s,l)}(t)$ – тривалість використання $B_r^{(s,l)}$ ресурсу СРЗ спеціального призначення для підтримки інформаційного сервісу (внутрішніх сервісів або послуг) $D_{<l,n>}^{(s,b)}$ $w_{nr}^{(s,l)}(t) = 1$ якщо ресурс СРЗ спеціального призначення виділено та функціонує;

$x_{rs_i}^{(s,l)}$ – чисельно визначає часовий інтервал від закінчення обслуговування СРЗ спеціального призначення $B_r^{(s,l)}$ внутрішнього сервісу $F_{<n,r>}^{(s,l)}$ до заданого кінцевого моменту часу;

$\omega_{sl}^{(s,l)}(t)$ – це допоміжна керуюча дія. Приймає значення “1”, якщо СРЗ спеціального призначення завершила обслуговування внутрішнього сервісу $F_{<n,r>}^{(s,l)}$;

$V_n^{(s,l)}$ –обсяг пам'яті, необхідної для зберігання вихідних та проміжних даних, що виділяється для виконання операції внутрішнього обслуговування;

$e_r^{(j)}, V_r^{(j)}, P_r^{(j)}$ – задані величини (константи), що характеризують максимальну інтенсивність реалізації внутрішніх сервісів на ресурсі СРЗ

спеціального призначення $B_r^{(s,l)}$ (до нарощування);

$\gamma_r^{(m,\delta)}(t)$ – допоміжна керуюча дія, що приймає значення «1» у момент часу t , якщо здійснено перехід від існуючих $(e_r^{(j)}, V_r^{(j)}, P_r^{(j)})$ до нових $\bar{e}_r^{(j)}, \bar{V}_r^{(j)}, \bar{P}_r^{(j)}$ параметрам інформаційних ресурсів B_j у підсистемі СРЗ спеціального призначення.

$a_n^{(s,l)}$ – обсяг операцій внутрішнього сервісу для підтримки заданого зовнішнього обслуговування;

$\delta_{nr}^{(s,l)}(t)$ – функція дозволяє оцінити сумарну якість надання $F_{<n,r>}^{(s,l)}$ внутрішніх сервісів СРЗ спеціального призначення на етапі спільного функціонування та нарощування.

$c_{nr}^{(s,l)}(t)$ – вартісна функція часу, що описує непрямі, тобто експлуатаційні витрати (адміністрування, технічна підтримка тощо), пов'язані з функціонуванням та нарощуванням конкретного інформаційного сервісу.

Висновки

1. Запропоновано метод синтезу раціональної топології СРЗ спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму. Структура СРЗ представляється у вигляді двомірної матриці інцидентності. Ця матриця використовується як хромосома операторами генетичного алгоритму. Елементи матриці інцидентності, що описують зв'язки між елементами СРЗ, у генетичному алгоритмі являються генами. В кожному циклі генетичного алгоритму здійснюється попарне схрещування хромосом, в ході якого здійснюється обмін частини генів, що для досліджуваної мережі означає появу та зникнення відповідних зв'язків між елементами. Розрахунок значень цільової функції (ступеню радіоелектронного придушення) пропонується здійснювати з використанням мультиагентного алгоритму, при цьому для кожної хромосоми поточної популяції спочатку розпізнається варіант дій РЕП. Виграш від реалізації зазначеного методу складає від 9 до 14 % за рахунок скорочення часу на прийняття рішення на вибір топології СРЗ спеціального призначення.

2. Запропоновано метод інтелектуального управління параметрами СРЗ спеціального призначення. Відмінність запропонованого методу від відомих полягає у комплексному управлінні параметрами фізичного, каналного та мережевого рівня СРЗ спеціального призначення. Запропонований метод дозволяє проводити вибір робочих частот засобів радіозв'язку з урахування стратегії засобів радіоелектронної боротьби; дозволяє обрати раціональну топологію мережі, обрати раціональний маршрут передачі інформації та дозволяє обрати режим роботи засобу радіозв'язку з урахуванням пропускної спроможності СРЗ. Виграш в діапазоні 10–16 % був отриманий в ході оперативного контролю поточного стану і заводової обстановки в каналах, зайнятих під передачу, за час, порівняний із тривалістю циклу обміну інформацією. Неоднозначність визначення стану каналів викликано різними параметрами сигналу, що приймається, в зв'язку з різними траєкторіями проходження сигналу та рівнями сигнал/шум в підканалах.

3. Запропоновано метод комплексного управління ресурсами СРЗ спеціального призначення.

Зазначений метод дозволяє: провести визначення впливу дестабілізуючих факторів на СРЗ спеціального призначення та визначити кількість необхідних сил та засобів зв'язку радіозв'язку, які необхідно наростити для повноцінного функціонування СРЗ спеціального призначення при впливі засобів радіоелектронної боротьби, вогневого ураження та кібер впливу. Зазначений метод дозволяє підвищити ефективність функціонування системи спеціального зв'язку при впливі дестабілізуючих факторів на 20–26 %, що підтверджується результатами моделювання.

SECTION 4. ELECTRICAL ENGINEERING

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.4.1

4.1 From Luigi Galvani's experiences to intelligent electrotherapeutic systems

Modern electrotherapy is one of the largest sections of hardware physiotherapy, based on the use of electric currents, electric, magnetic and electromagnetic fields with different parameters in continuous or pulsed modes for treatment and prevention and rehabilitation purposes. Electrotherapy accounts for more than 70 % of all physiotherapy procedures performed in medical institutions [182].

Methods of electrotherapy and appropriate technical means (apparatus and hardware complexes) for the procedure of the accepted classification taking into account the used part of the spectrum of electromagnetic oscillations: low-frequency, high-frequency, light-optical, X-ray and radiological [183]. The division of electrotherapeutic methods and devices into low-frequency and high-frequency is to some extent conditional.

According to the International Radio Regulations, the low-frequency range of electromagnetic oscillations is from 3 to $3 \cdot 10^5$ Hz (ultra-low-frequency oscillations 3-30 Hz; ultra-low-frequency oscillations 30-300 Hz; infra-low-frequency oscillations $3 \cdot 10^2$ - $3 \cdot 10^3$ Hz); $3 \cdot 10^3$ - $3 \cdot 10^4$ Hz; low-frequency $3 \cdot 10^4$ - $3 \cdot 10^5$ Hz). All low-frequency methods and devices are divided into two large groups in the form of active electromagnetic energy: for the influence of current and the influence of the field.

Among the methods and devices that act with current, three groups are usually distinguished: for exposure to direct current, pulsed or alternating current. Further classification is usually made according to the name of electrotherapeutic methods.

Direct current is mainly used for galvanization and drug electrophoresis procedures. The methods of exposure to pulsed currents include [184]: electrical stimulation of organs and tissues (0.5-120 Hz); diadynamic therapy (50 or 100 Hz); electrosleep therapy (5-160 Hz); electropuncture (20-250 Hz); short-pulse electroanalgesia (2-400 Hz); transcranial electroanalgesia (low-frequency mode 60-100 Hz, high-frequency mode 150-2000 Hz). Low frequency alternating current is

used in interference therapy methods (3-5 kHz); amplipulse therapy (carrier frequency 1-10 kHz, modulating frequency 1-150 Hz); fluctuating (the frequency of the current changes continuously, while in various devices the lower limit of the range is from 0.5 to 100 Hz, and the upper limit is from 2 to 20 kHz).

Methods and devices intended for exposure to a low-frequency field are divided into groups according to the type of field: electric or magnetic, which in turn can be divided into subgroups depending on the type of field (constant, pulsed, variable).

A constant electric field of high intensity is used in the franklinization method, named after the American scientist B. Franklin. The use of a permanent magnetic field created by permanent magnets is today referred to as an alternative medicine method, since there is no consensus on its effectiveness in the world medical community yet. In pulsed and variable form, magnetic fields are widely used in medical practice. In this case, the frequency range of the magnetic field is from 0.125 to 1000 Hz.

High-frequency electromagnetic oscillations include oscillations in the frequency range from $3 \cdot 10^6$ to $3 \cdot 10^{11}$ Hz (high-frequency oscillations $3 \cdot 10^6$ - $3 \cdot 10^7$ Hz; very high-frequency $3 \cdot 10^7$ - $3 \cdot 10^8$ Hz; ultra-high-frequency $3 \cdot 10^8$ - $3 \cdot 10^9$ Hz ; microwave $3 \cdot 10^9$ - $3 \cdot 10^{10}$ Hz; extremely high-frequency $3 \cdot 10^{10}$ - $3 \cdot 10^{11}$ Hz). High-frequency methods of electrotherapy and their corresponding devices, as well as low-frequency methods, are usually divided into two groups according to the form (current or field) of the electromagnetic energy acting.

Exposure to high-frequency (mainly in the form of harmonic oscillations) current is carried out in continuous or pulsed (series of harmonic current alternating with pauses) modes. It is customary to refer to the methods of exposure to high-frequency current: therapy with currents of supratonal frequency (22 kHz); local darsonvalization (200-500 kHz); diathermy (1.5-2 MHz); electrosurgery (200 kHz - 5.5 MHz).

Methods and equipment that act on a high-frequency field are divided into groups according to the type of field [183]: electric field (created using two electrodes), magnetic field (created using inductors), electromagnetic induction field, electromagnetic radiation field. The main high-frequency electrotherapy methods that use an electromagnetic field include: general darsonvalization (440 kHz);

inductothermy (13.56 MHz); continuous and pulsed ultra-high frequency therapy (27.12 MHz and 40.68 MHz); decimeter wave therapy (460 MHz); centimeter wave therapy (2375 and 2450 MHz); extremely high frequency electrotherapy (42.194 and 53.534 GHz).

The use of the optical part of the range of electromagnetic oscillations for medical purposes is called phototherapy (an integral part of electrotherapy). All methods and technical means of phototherapy are usually divided into groups according to the part of the spectrum used: infrared radiation (far, wavelength range 10^{-3} - $5 \cdot 10^{-5}$ m; average $5 \cdot 10^{-5}$ - $2.5 \cdot 10^{-6}$ m; near $2.5 \cdot 10^{-6}$ - $7.6 \cdot 10^{-6}$ m); visible radiation (red $7.6 \cdot 10^{-7}$ - $6.2 \cdot 10^{-7}$ m; orange $6.2 \cdot 10^{-7}$ - $5.9 \cdot 10^{-7}$ m; yellow $5.9 \cdot 10^{-7}$ - $5.8 \cdot 10^{-7}$ m, green $5.8 \cdot 10^{-7}$ - $5.1 \cdot 10^{-7}$ m, blue $5.1 \cdot 10^{-7}$ - $4.8 \cdot 10^{-7}$ m, blue $4.8 \cdot 10^{-7}$ - $4.5 \cdot 10^{-7}$ m, violet $4.5 \cdot 10^{-7}$ - $4.0 \cdot 10^{-7}$ m); ultraviolet radiation (long wave $4.0 \cdot 10^{-7}$ - $3.2 \cdot 10^{-7}$ m; medium wave $3.2 \cdot 10^{-7}$ - $2.8 \cdot 10^{-7}$ m; short wave $2.8 \cdot 10^{-7}$ - $1.8 \cdot 10^{-7}$ m). It should be noted here that the use of the visible part of the spectrum for therapeutic purposes is commonly called chromotherapy [184]. In recent decades, laser therapy [185] and LED therapy [186] have been distinguished in phototherapy.

The use of X-rays (wavelength range from 10^{-7} m to 10^{-12} m) for therapeutic purposes is called X-ray therapy (section of radiotherapy). This type of therapy is currently going through the next stage of its development, which is characterized by the cooperation of specialists of different profiles, a combination of physico-diagnostic, technical, clinical and radiobiological approaches to the treatment of each patient [187]. For radiotherapy procedures, special devices with x-ray emitters are used. According to the mutual arrangement of the emitter and the patient, long-range devices are distinguished - for remote irradiation of internal organs, close-range - for irradiation of the skin and tissues located in their immediate vicinity, intracavitary - for contact irradiation of internal organs by introducing the emitter into the body cavity [188].

Radiation therapy also includes radiation therapy, which is used mainly for the treatment of malignant tumors using gamma radiation, beta radiation, neutron radiation and elementary particle beams. Unfortunately, as a result of such irradiation, not only the tumor itself suffers, but also the surrounding tissues. To reduce the negative impact

of radiation on healthy tissues in modern medical equipment for radiation therapy, strict dosing of radiation and its focusing on the pathological focus are provided.

Some methods of electrotherapy have been actively used for only two or three decades, others have been effectively used for more than one hundred years. Nevertheless, both long-known and new methods, as well as the corresponding devices for electrotherapy, are constantly being developed and improved along with the development of physics, electronics, computer technology, experimental and clinical medicine.

The aim of the work is a retrospective analysis of the main stages in the development of electrotherapy and the definition of prospects for the creation and development of intelligent electrotherapy systems.

Where did it all begin. The impetus for the scientifically based use of electrical energy for medicinal purposes is considered to be the experiments of the Italian doctor, anatomist, physiologist and physicist Luigi Galvani.

In his first experiment, L. Galvani observed contraction of the frog's gastrocnemius muscle under the action of bimetallic (Fe/Cu) tweezers on the sciatic nerve. Continuing his experiments, L. Galvani came to the conclusion that electric charges are generated as a result of some life processes in the frog's leg, since at that time physicists (including Galvani) believed that metals can only be conductors and cannot create electricity. Claiming that he discovered a new kind of electricity, Galvani cited electric fish as an example [189]. Their ability to inflict tangible electric shocks has been known since ancient times. There is evidence that even Roman doctors at the turn of the millennium of our era placed paralyzed patients in order to cure them in pools with electric rays.

Dealing with electric fish (one of them even bears his name today - "Galvani's torpedo"), Galvani established himself in the opinion that if stingrays can generate electricity, then the muscles of any other animal should also produce it. At the same time, the Bologna professor emphasized in his treatise that he considers the electricity that appears during friction, as well as atmospheric and skate electricity, to be similar to the "animal electricity" that he discovered.



Luigi Galvani

In 1791, L. Galvani published a Treatise on the Forces of Electricity in Muscular Movement, in which he describes the presence of an electric current in the muscles of animals. The book aroused great interest among physicists and doctors, who vied with each other to repeat the described experiments. Passion for experiments with static electricity has been inherent in the scientific community since the middle of the 18th century. Electrification tried not only to breed chickens, but also to treat people. Doctors electrified drugs, patients, and, regardless of the results, wrote about the "definitely positive effect." At that time, many "healers" arose who convinced that they had a particularly strong electrical effect and therefore could heal the sick. Even "methods of treatment" have arisen, according to which the paralyzed (paralyzed) people need to be charged with "positive" electricity to be cured, and insane people with "negative" electricity.

In the midst of the triumph of galvanism, an article by Alessandro Volta, professor of physics at the University of Pavia, appeared in the Italian Physico-Medical Journal. He argued that in order to explain the experiments of L. Galvani, it is not necessary to assume the existence of some special "animal electricity". It's not at all about the poor frog and not about its severed leg. It's just that Galvani, without knowing

it, brought two different metals into interaction. They gave rise to electricity. And the frog served only as a guide.

A. Volta wrote: “I have long been convinced that all action arises initially as a result of the contact of metals with some wet body or with water itself. Due to this contact, the electrical fluid is driven into this wet body or into the water from the metals themselves, more from one, less from the other (most from zinc, least from silver). When a continuous communication is established between the corresponding conductors, this fluid makes a constant circulation. And so, if this conducting circle or any part of it includes, as a connecting link, the femoral nerves of a frog, dissected in such a way that all or almost all of the electric current should pass through these nerves alone, or if such a link is some some other nerve that served to move this or that member of the body of some other animal, so long as such nerves retain the remainder of their vitality, then, controlled by such nerves, the muscles and members of the body begin to contract as soon as the circuit of conductors closes and electric power appears. current” [190].



Alessandro Volta

Naturally, L. Galvani could not leave such an attack without attention. In the presence of witnesses, he dissected the frogs with an iron knife, placing them on an iron stand, connecting the muscle and nerve with a wire of the same metal. The paws

were still twitching. "If this happens with one metal, then the source of electricity is in the animal!" – convinced L. Galvani.

"Not at all! - objected A. Volta. - Even a single piece of wire cannot be considered absolutely homogeneous. It may contain impurities. It can be tempered in different ways in length. And he demonstrated electricity, which was born without the participation of animals at all, from only dissimilar metals. A. Volta dubbed it "metal electricity".

The whole world of physicists is divided into two camps. Some supported L. Galvani and were called supporters of galvanism. Others adhered to the views of A. Volta. And it is difficult to say how this dispute would have ended in the 18th century if L. Galvani had not dropped out of the fight.

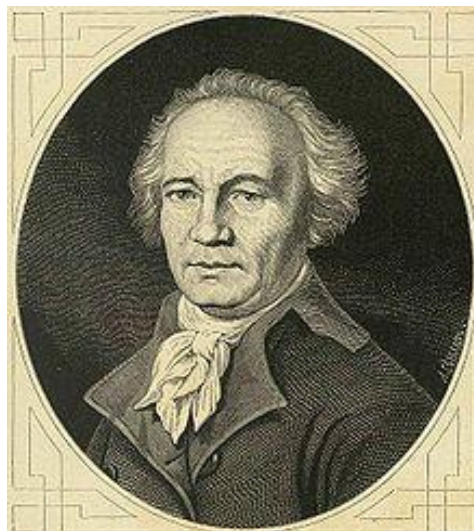
In 1796, French troops under the command of General Bonaparte invaded northern Italy under the pretext of war with Austria. All university professors were required to take an oath of allegiance to the new government. L. Galvani refused to do this and was fired. Left alone and without a livelihood, L. Galvani died of exhaustion on December 4, 1798.

The long-term dispute is over - both of its participants turned out to be right and are now recognized as the founders of the doctrine of electricity. L. Galvani's experiments with "animal electricity" formed the basis of a new scientific direction for that time - electrophysiology, and the method of using direct electric current for medicinal purposes was called galvanization. A. Volta became the creator of a chemical current source, which his contemporaries gave the name "voltaic column" [190].

Despite the fact that the fashionable European fad - electromedicine (the prototype of modern electrotherapy) came to Russia with a slight delay, it immediately took on a serious form, which made it possible to talk about the emergence of a new branch of medicine. At a time when Galvani was still conducting experiments with frog legs, the Russian scientist and inventor Andrei Timofeevich Bolotov had already opened an electric clinic and, as he believed, successfully treated almost all diseases known by that time.

At the junction of two interests - electricity and medicine, Andrei Timofeevich began to create a new science, simultaneously promoting both theory and practice. The theoretical part was formulated by him in several works published during the 1790s: “The History of My Electrification and Healing of Various Diseases by It”, “A Brief Electric Medical Book”, etc. The final work on electromedicine was published by Bolotov in 1803 and was called “Short and experience-based remarks on electricity and on the ability of electric machines to help from various diseases. In this book, the scientist described in detail the structure of his electric instruments, the principle of their operation, gave detailed instructions on the use of electricity in various medical cases.

In his clinic, Andrei Timofeevich offered to treat: colds, rheumatism, diseases of the heart, digestive organs, paralysis, contractures, neuropsychiatric disorders ... Describing the results of his medical work using electric charges, the scientist spoke of a cure for more than 1,500 people over two and a half years “not only from various mild diseases, but many times from the most serious, long-term, neglected, and several times even the rarest, unusual and such diseases that opposed all other medicines used before and even the healing of skilled physicians.”



Andrei Timofeyevich Bolotov

A. T. Bolotov simplified the design of the electrostatic machine and the Leiden jar as much as possible. This, according to the scientist, made it possible to produce miraculous electrical appliances everywhere, in the most primitive workshops, and to provide assistance to both the rich and the poor.

The unique developments of A. T. Bolotov, although they aroused interest from scientists and doctors, however, did not receive the wide distribution that he expected. By the beginning of the 19th century, the excitement around the new panacea began to subside: the public expected a miracle from electromedicine, but it did not happen - it did not always help, and only within the limits of the possible. When A. T. Bolotov created his electric hospital and wrote works on electricity, ideas about the nature of electricity were still very limited. However, attempts to use electrical energy for medicinal purposes continued.

In 1802, V. Rossi first used direct current to introduce mercury salts into the body of a patient with syphilis, thereby laying the foundation for drug electrophoresis. The beginning of the scientific study of the therapeutic effects of a direct electric current of small strength was laid by the News of Galvanic Experiments, published by Academician of the Medical and Surgical Academy V.V. Petrov in 1803. Five years later, Professor of Moscow University F. Reis quantitatively described the phenomenon of electroosmosis, and in 1825 D. Charlander for the first time used electropuncture to influence deep-lying tissues [184].

For quite a long time, galvanic cells or batteries were considered the best current sources for galvanization and drug electrophoresis procedures. The main advantage of such sources at that time was seen in the absence of voltage and current ripples (unlike dynamos). For the procedures, the most suitable were galvanic cells consisting of coal and zinc immersed in a solution of ammonia. Batteries were used both lead and alkaline. To obtain a voltage of 60–70 V, galvanic cells or batteries were connected in series [191].

The current was supplied to the patient's body using tin or lead electrodes (due to their plasticity), which were connected to a current source using special wires. The thickness of the electrodes was usually 0.25-0.5 mm, and the shape and area depended

on the area that was electrified. Between the electrodes and the patient's body, pads made of undyed cotton fabric were placed. For carrying out galvanization procedures, the gaskets were wetted with water, and during drug electrophoresis, one of them was wetted with a solution of a medicinal substance. In this case, the interelectrode section of the body had some electrical resistance Z_{IE} , containing ohmic and capacitive components.

During the first electrotherapy procedures (Fig. 1), the patient's condition was assessed only by visual control, and the process control was limited to connecting the patient to a battery of galvanic cells or turning it off. The system of interaction of an electromagnetic energy source with a patient and a doctor performing the control function is currently called a biotechnical system (BTS).

From the point of view of the theory of automatic control of BTS, shown in fig. 1 should be attributed to the class of the simplest open-loop systems, which, as a rule, do not provide the desired quality of the course of physiological processes and the required therapeutic effect. Feedback is set here only in the event of a critical or unforeseen situation, the elimination of which is carried out manually.

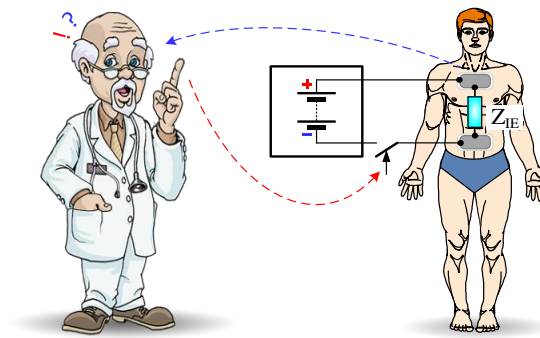


Figure 1. Carrying out the galvanization procedure with galvanic current sources

The appearance in medical institutions of electrical networks of alternating voltage made it possible to abandon the use of galvanic cells and batteries during electrotherapy procedures. In medical practice, devices that receive electrical energy from the network began to be used. Let's consider the evolution of such devices on the example of the simplest of them, designed for electrotherapy with direct and pulsed current.

In the first devices for electrotherapy with direct current (Fig. 2), a transformer (T) was used to lower the alternating voltage u_C of the supply network, the voltage was rectified first by lamp diodes, and later by semiconductor diodes (VD). Smoothing of rectified voltage ripples was provided by an LC or RC filter.

In this case, the combination of a transformer, rectifier diodes and a filter can be considered as an unregulated unstabilized secondary power source (UUSPS).

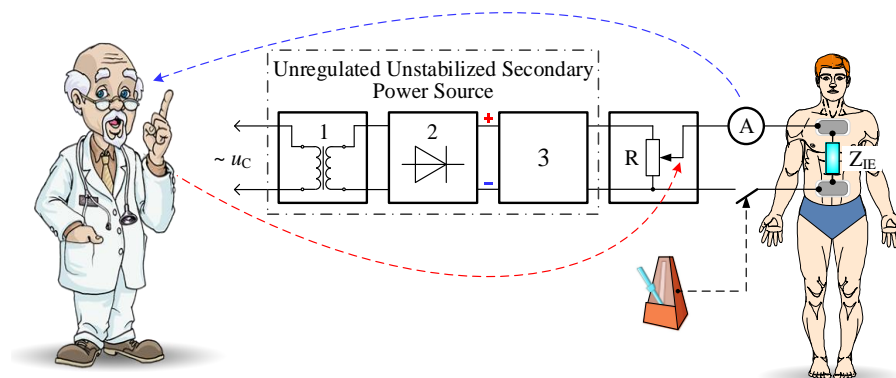


Figure 2. Device for electrotherapy with direct current, where 1 – transformer (T), 2 – rectifier (VD), 3 – filter (LC / RC)

The doctor regulated the output current with the help of a rheostat R, observing the readings of the ammeter A and inquiring about the patient's feelings.

The main disadvantage of such an apparatus (devices made according to the scheme shown in Fig. 2 are still in operation) is that it does not allow strictly dosing the effect of electric current. There are two reasons for this. Firstly, the supply voltage u_C is unstable (external disturbance), even the standard allows its deviation within 10%, and in real conditions it can be more (up to 20%) [192, 193]. Secondly, the resistance of the interelectrode section Z_{IE} during the procedure can change significantly (up to 40%) [193].

For example, in the device for galvanization and medicinal electrophoresis Potok-1, when the supply voltage changed by $\pm 10\%$, the output current also changed by $\pm 10\%$, and when the load resistance changed from 300 to 600 Ω , the load current changed up to 9% in the first subrange and up to 45% - in the second subrange of output

current regulation [193]. Thus, to stabilize the current in the patient circuit, the doctor needs to control the readings of the ammeter A throughout the procedure and adjust the output current of the device using the rheostat R.

As the methods of conducting electrotherapeutic procedures improved, doctors came to the conclusion that it was expedient to use pulsed currents to stimulate the neuromuscular system of the musculoskeletal system. In some cases, metronomes were used to rhythmically interrupt the current. A special rocker with needles at the ends was attached to the metronome's pendulum. When the pendulum oscillated, the needles were alternately immersed in vessels with mercury, which led to the closing of the contact and the formation of a circuit for the current to flow through the patient [191].

In the considered BTS, with an open control loop, it is possible to change one parameter (regulation by the doctor of the current strength in the patient circuit) or two parameters of the impact (current strength and frequency of its interruption according to the time program specified by the metronome). Such a BTS should be considered as a discrete open-loop system with quantization as a function of frequency. In this case, there is no objective assessment of the effectiveness of the results of electrotherapy, the desired parameters of the signals of physical effects on the patient are still not formed. However, in such systems it is much easier to organize manual or automatic protection of the patient from inadmissible or uncomfortable current values, which frees the doctor from constant monitoring of the therapy process.

The desire to compensate for the instability of the supply voltage led to the fact that instead of UUSPS in electrotherapy devices (ETDs), they began to use unregulated but stabilized secondary power sources (USSPS) (Fig. 3). Stabilization of the output voltage was provided in them by a regulatory element (PE), which operated in a continuous or pulsed mode.

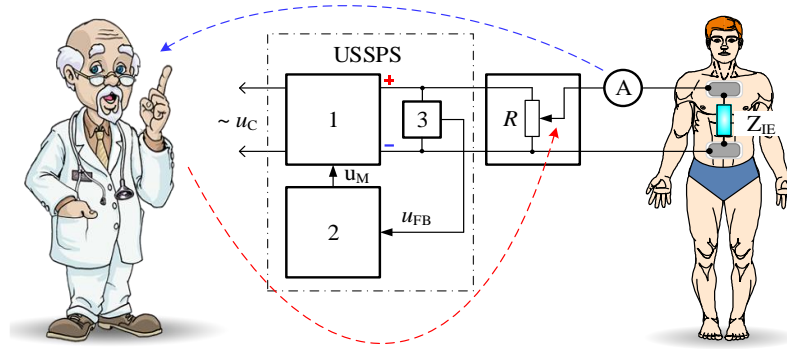


Figure 3. A direct current electrotherapy apparatus with an unregulated stabilized secondary power supply (USSPS), where 1 – regulating element (PE), 2 – voltage regulator (VR), 3 – output voltage sensor (OV)

The formation of the control action u_M for PE was carried out using a voltage regulator (VR) taking into account the feedback signal u_{FB} coming from the output voltage sensor (output voltage – OV) of the source. The doctor continued to regulate the output current using the rheostat R , observing the readings of the ammeter A and taking into account the patient's sensations. Such an approach, for example, in the device for diadynamic therapy AFT SI-01, allows you to fully compensate for changes in the supply voltage, but changes in the load resistance (by 50%) lead to a greater change in the output current (up to 80%) [192].

BTS in this case contains in its structure an electrical part, where local feedback is used to stabilize the voltage of the power source. However, even with a stable supply voltage, the main signal of physical impact on the patient - the electric current - depends on the conditions of contact with living tissues and their resistance, the change in the parameters of which are not known in advance and are of a very diverse nature. Predicting the actual course of the electrotherapeutic process is possible only when using the results of studies on various models (biological, physical, physico-chemical or mathematical).

The processes occurring in the electrical circuits and electronic elements of the BTS are described by differential equations. The same mathematical apparatus can be used if the electrical properties of biological tissues and the “electrode-skin” transition are represented in modeling by equivalent electrical circuits of body tissues [195].

The presence of such models makes it possible to obtain a transfer function that relates the Laplace images of the output (adjustable) current $I(p)$ and the input voltage $U(p)$ from the power source:

$$W(p) = \frac{I(p)}{U(p)} = \frac{(R_1 + R_2)Cp + 1}{R_1(R_2Cp + 1)} = \frac{k_{SE}(T_0p + 1)}{Tp + 1},$$

where $k_{SE} = \frac{1}{R_1}$ – transfer coefficient "electrode-skin".

In other ETDs, UUSPS at the input (Fig. 4) was supplemented with an adjustable stabilized secondary power source (ASSPS), in which the current regulator (CR) formed the control action u_M , taking into account the control error determined by the algebraic sum of the signal setting u_T and current feedback signal u_{FB} from the current sensor (CS). Setting the current in the patient circuit is carried out by the doctor only at the beginning of the procedure, then the current strength is stabilized automatically.

In the presence of a CR regulator, a positive effect is manifested primarily in the fact that the intensity of the impact (strength of electric current) on the patient is maintained at a given level with a certain accuracy, regardless of changes in the resistance in the area of contact of the electrode with the skin or other factors. The electrical part of the BTS is a closed-loop automatic current stabilization system, which can provide a sufficiently high accuracy of the task signal processing with the introduction of special corrective devices.

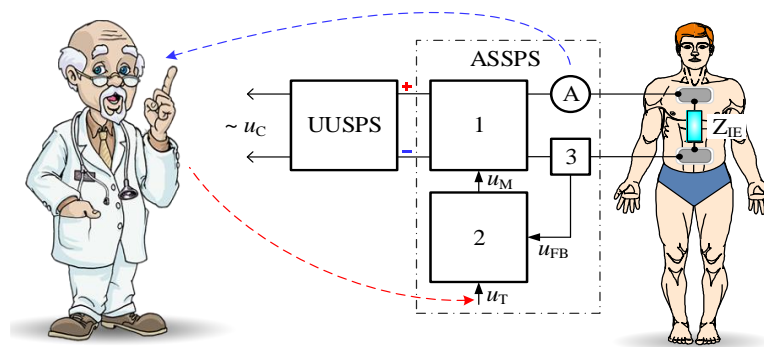


Figure 4. Device for electrotherapy with direct current with an adjustable stabilized secondary power supply (ASSPS) with output current feedback, where 1 – regulating element (RE), 2 – current regulator (CR), 3 – current sensor (CS)

However, this approach to building an ETD is not always efficient. For example, the load characteristics of the device for diadynamic therapy "Tonus-2M" turned out to be very acceptable (when the load resistance changed by $\pm 50\%$, the output current changed by no more than 0.6%), but when the supply voltage changed by $\pm 10\%$, the deviation of the output current in some cases reached 40% [192]. This is explained by the fact that diadynamic current pulses are formed using the mains supply, and the power supply level of the ASSPS, made in the form of a stabilizing amplifier with a large output impedance, also depends on the mains voltage.

Further studies have shown that a satisfactory result can only be obtained by compensating for the influence of disturbances both at the input of the ETD and deviations at its output.

In the simplest case, this problem can be solved by using two stabilized secondary power sources simultaneously (Fig. 5).

In the above diagram, USSPS with output voltage feedback provides compensation for the influence of mains voltage instability. ASSPS due to feedback on the output current ensures its stabilization with changes in load resistance. Thus, the influence of both perturbing factors is compensated, which makes it possible to fairly strictly dose the effect of electric current. Here, as in the previous case, the doctor sets the current strength in the patient circuit only at the beginning of the procedure, then the current is automatically stabilized.

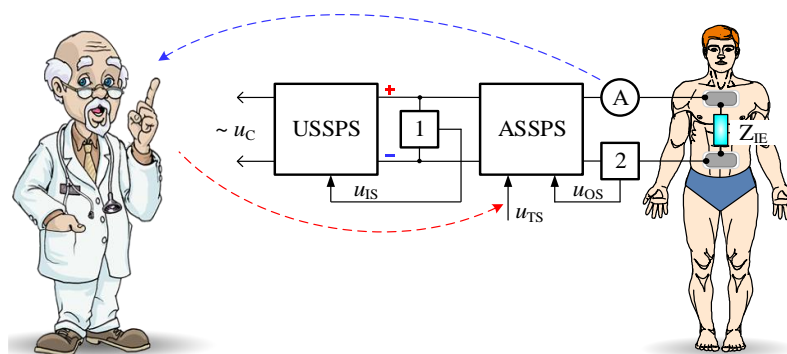


Figure 5. DC electrotherapy machine with USSPS and ASSPS with output current feedback, where 1 – voltage sensor (OV), 2 – current sensor (CS), ASSPS – adjustable stabilized secondary power supply, USSPS – unregulated stabilized secondary power supply

The considered principle of disturbance compensation is used, for example, in the apparatus for galvanization and medicinal electrophoresis "Elesculap", which has rather rigid load characteristics (deviations of the output current when the resistance changes from 300 to 600 Ω do not exceed 2%), and changes in the supply voltage by $\pm 10\%$ lead to deviations of the output current by no more than 2% [193].

In the electrical part of the device, the closed circuit for stabilizing the output voltage of the USSPS source is connected in series with the closed circuit for stabilizing the current. In general, this system can be considered as a multi-dimensional stabilization system with two adjustable coordinates (voltage stabilization applied to the ASSPS and current stabilization in the patient circuit). This embodiment eliminates the influence of supply voltage instability on the strength of the acting current. The advantage of the system is that electrical signals are used to organize feedback, which are relatively easy to amplify, transmit over a distance, display and process using modern electronic devices. Feedbacks of closed loops are, as a rule, a proportional link with a transfer function:

$$W(p) = \frac{Y(P)}{X(P)} = k,$$

or an inertial link with a small time constant ($T \cong 0$):

$$W(p) = \frac{Y(P)}{X(P)} = \frac{k}{Tp+1},$$

where $Y(p)$, $X(p)$ – Laplace image, respectively, of the output and input signal of the feedback sensor;

k – encoder gain;

T – time constant of the sensor, determined by its speed.

Another option to compensate for the effect of disturbances on the output current ETD is to use a combined control system (CCS) (Fig. 6), in which the control action u_M is formed not only taking into account the reference signal u_{TS} and the output current feedback signal u_{OS} , but also taking into account the input voltage feedback signal u_{IS} .

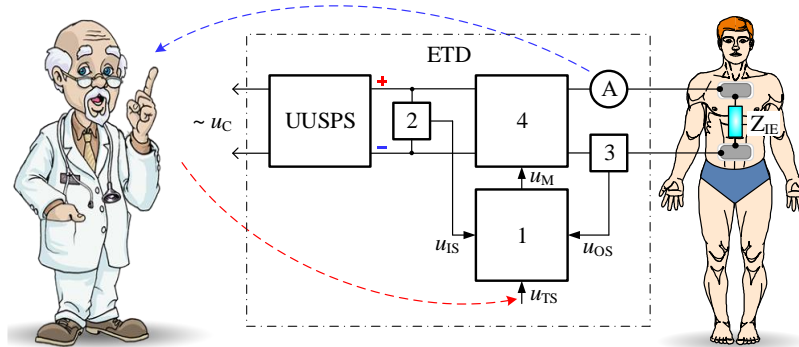


Figure 6. Device for direct current electrotherapy with a combined control system, where UUSPS is an unregulated unstabilized source of secondary power supply, 1 – a combined control system (CCS), 2 – voltage sensor (OV), 3 – current sensor (CS), 4 – regulating element (PE)

The advantage of CCS is that, due to its inertia at the input, it allows you to almost completely compensate for the effects of changes in the input voltage [196].

The doctor sets the current in the patient circuit before starting the procedure. During the procedure, the current stabilizes automatically, but if necessary, its value can be changed in the desired direction (output current setting signal u_{TS}). The principles of combined control were used in the development of an apparatus for galvanization and drug electrophoresis ANET-50 GT [197]. Studies of the device showed that the deviations of the output current in the entire range of its regulation (from 0.1 to 50 mA) did not exceed 1% both when the load resistance changed from 300 to 600 Ω , and when the supply voltage changed by $\pm 10\%$ [193]. Additional functionality of the ANET-50 GT device is automatic limitation of the duration of the procedure at a given level; self-diagnosis of the device when connected to the network and during the vacation procedure; the possibility of exposure to continuous and pulsed current, which during the procedures of drug electrophoresis provides a greater depth of penetration of medicinal substances into the patient's body [198].

An analysis of the above ETD circuit solutions shows that in the course of their evolution they have gone from the simplest devices to fairly complex electrotherapeutic devices with broad functionality (due to microprocessor control) and

the possibility of accurately dosing the parameters of exposure to electromagnetic energy during medical procedures.

An analysis of trends in the further development of equipment for electrotherapy indicates that there are several main areas:

- use of microprocessor technology, which allows to significantly improve the quality (including the accuracy of dosing of exposure parameters) of medical equipment for therapeutic purposes, program exposure modes with automatic change in parameters, and improve operational performance [197, 199];

- expanding the functionality of the equipment (several different methods of physiotherapy, including the possibility of their combined use) and the range of regulation of exposure parameters, which will improve existing and create new methods and techniques of physiotherapy [200, 201];

- application of the principles of biofeedback using biofeedback (BFB), which allow therapeutic equipment to independently adjust the parameters of exposure, taking into account the state of the patient exposed to therapeutic effects of preformed physical factors [202, 203].

The listed directions of development assume close cooperation of specialists in the field of biology, medicine, electronic, microprocessor, computer technology and programming.

The first two directions are already being successfully introduced into the medical technological process. As for the third direction, with all its prospects, so far only attempts to use the principles of biocontrol in electrotherapy can be noted. It should be noted here that, perhaps, for the first time, separate principles of biofeedback, namely automatic biosynchronization, were used for pacing. Stimulators are controlled from the P-wave or from the R-wave of the electrocardiogram, i.e. from the contraction potentials of the atrium or ventricle [183]. It should be noted that the function of a pacemaker with BFB is not only to synchronize the beginning of the formation of a stimulating impulse with one or another fragment of the electrocardiogram, but also to automatically switch to a fixed rhythm when the heart rate goes beyond the allowable range.

Recently, questions of biofeedback in physiotherapy have been raised more and more often. In particular, it is proposed to use signals from a pulse sensor and a respiration sensor to modulate laser radiation [185]. In this case, the laser radiation power is modulated by three signals. The initial modulation is carried out by a generator signal, the frequency of which periodically changes in the range from 7 to 14 Hz, which corresponds to many physiological processes in the human body. The result of such modulation is a decrease in the radiation power by a factor of three.

When a signal from the pulse sensor appears, the radiation power doubles, and when a signal from the breath sensor appears, it reaches its original value. Thus, in the phases of exhalation and diastole, the radiation power will be minimal, and in the phases of inspiration and systole (the most favorable interval for exposure) it will reach its maximum value.

The generalized scheme of the electrotherapeutic system with biosynchronization is shown in fig. 7. Dosing of exposure (frequency-time parameters, intensity and duration) to the patient by electromagnetic energy (EME) is carried out by the doctor taking into account the appropriate medical technique (setting signal U_T).

In the ETD, the alternating mains voltage (ETD connection to the mains is not shown in Fig. 7) is converted into the power supply voltage u_{PS} , not only taking into account the reference signal U_T and the feedback signals necessary to stabilize the effect of feedback signals (not shown in the Fig. 7), but also taking into account synchronization signals $u_{S1} - u_{Sn}$, which come from sensors of physiological parameters (SPhP) $SPhP_1 - SPhP_n$ (in the general case, there may be several such sensors).

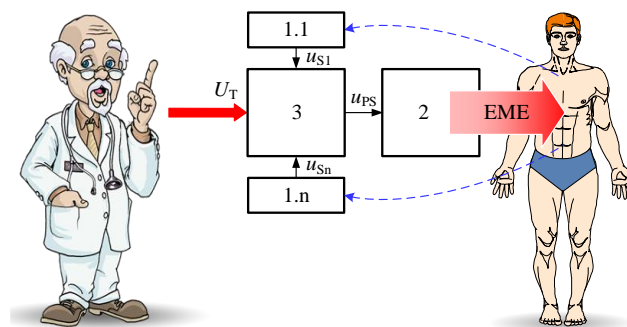


Figure 7. Electrotherapy system with biosynchronization, where 1.1 – 1.n – physiological indicators sensors ($SPhP_1 - SPhP_n$), 2 – executive agency (EA), 3 – electrotherapy device (ETD)

The executive body (Executive Agency - EA), converting the supplied voltage u_{PS} , forms an interrupted (pulsating) flow of electromagnetic energy in one form or another (electric current, electric field, magnetic field, electromagnetic radiation). In this case, the intensity (or other parameters) of EME changes synchronously with rhythmically changing physiological parameters in the patient's body.

Another attempt to use the principles of biofeedback is the creation of complexes containing diagnostic instruments (DI) and therapeutic devices (in [197] see the Synergis rehabilitation and prophylactic complex and the Mitera diagnostic device). With the help of the device, continuous (during the procedure) monitoring of the physiological parameters of the patient is provided here, and with the help of the device and its executive body, a flow of electromagnetic energy with certain specific parameters is formed. The scheme of such a complex in a generalized form is shown in Fig. 8.

Prior to the start of the procedure, the doctor, in accordance with the chosen method of treatment, sets a certain set of amplitude-frequency-time parameters EME (setting signal U_T). In accordance with the task, the device converts the alternating voltage of the supply network (the connection of the ETD to the network is not shown in the figure) into the power supply voltage u_{PS} of the executive body EA. It, in accordance with its purpose, converts the supplied voltage into one or another type of electromagnetic energy with specified parameters.

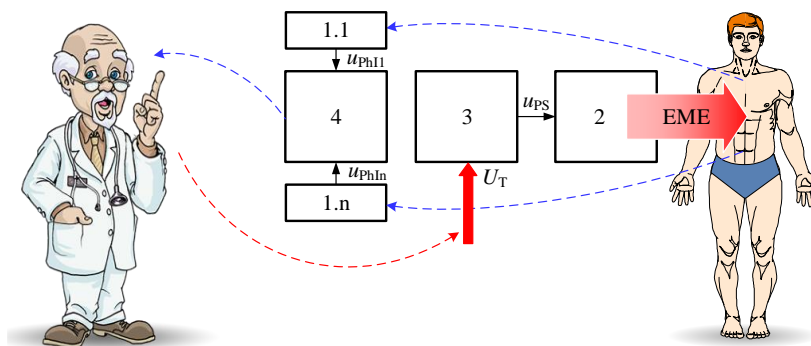


Figure 8. A complex with a diagnostic device and an electrotherapeutic device, where 1.1 – 1.n – physiological indicators sensors ($SPhP_1 – SPhP_n$), 2 – executive agency (EA), 3 – electrotherapy apparatus (ETD), 4 – diagnostic instrument (DI)

The diagnostic tool receives information (signals $u_{PhI1}-u_{PhIn}$) about the patient's condition, which is taken from his body by appropriate sensors $SPhP1 - SPhPn$. In the device, this information is converted into a form that is convenient for perception by the doctor. Now the doctor has objective information about the patient's condition. If necessary, he can correct any of the EME parameters within the specified range.

Further improvement of electrotherapy is possible with the creation of intelligent electrotherapy systems (intelligent electrotherapy systems – IETS) with full biocontrol. The essence of such control is that the parameters of EME, which affects a person with a therapeutic purpose, can not only be synchronized with his rhythmic physiological indicators, but also, if necessary, automatically change as a function of the values of such indicators, as well as taking into account anthropological features. The construction of IETS is carried out on the basis of personal computers or specialized microcontrollers (Fig. 9, a), which requires specialized software and methodological support. At the same time, IETS performs the functions of both a diagnostic device and an electrotherapy device. Setting the amplitude-frequency-time parameters of EME and entering the anthropological data of the patient here, the doctor performs using the keyboard and monitor (setting signal and data entry U_T). Taking into account all the given parameters and entered data, in IETS the mains voltage (IETS connection to the mains is not shown in the figure) is converted into the u_{PS} power supply voltage for the actuator. EA converts the supplied voltage into electromagnetic energy with specified parameters. During the procedure, information about the physiological parameters characterizing the patient's condition enters the IETS from the outputs of the sensors $SPhP_1 - SPhP_n$ in the form of signals $u_{PhI1}-u_{PhIn}$. When changing the values of physiological indicators in IETS, a decision is made to automatically adjust the EME parameters, which is accordingly displayed on the monitor screen u_{PS} for executive agency. EA converts the supplied voltage into electromagnetic energy with specified parameters. During the procedure, information about the physiological parameters characterizing the patient's condition enters the IETS from the outputs of the sensors $SPhP_1 - SPhP_n$ in the form of signals $u_{PhI1}-u_{PhIn}$. When changing the values of

physiological indicators in IETS, a decision is made to automatically adjust the EME parameters, which is accordingly displayed on the monitor screen.

With the help of IETS, it is possible to carry out procedures without the participation of a doctor, provided that the patient correctly enters his anthropological data and selects the treatment program that corresponds to the medical purpose (Fig. 9, b).

The most difficult task in the implementation of IETS (as well as similar systems acting on mechanical energy) is to determine such a functional relationship between the parameters of exposure and the physiological parameters of the patient, which would provide the maximum therapeutic effect. To determine such a relationship, the principle of successive approximation in changing the parameters of exposure as a response to a biological response can be used [204]. In addition, fuzzy and genetic algorithms, neural networks and mechatronic modules can be quite effective tools for solving this problem, which is possible due to the use of microprocessor technology for the implementation of IETS.

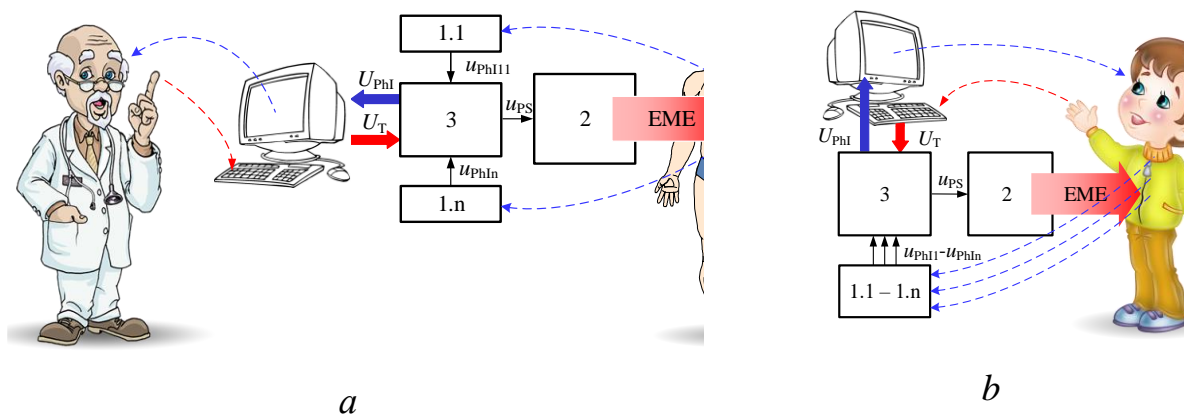


Figure 9. Intelligent electrotherapy system with complete biological control: leave the procedure under the supervision of a physician (a); vacation procedure without the participation of a doctor (b), where 1.1 – 1.n – physiological indicators sensors ($S_{PhP_1} - S_{PhP_n}$), 2 – executive agency (EA), 3 – intelligent electrotherapy system (IETS)

Equally important is the choice of the physiological parameters themselves or their various combinations. We would like to draw the attention of developers here,

first of all, to bioelectric potentials, since they reflect the most subtle changes in the functioning of organs and tissues of the body. Another criterion for choosing physiological parameters may be the very appointment of physiotherapy, as a means, the purpose of which is the restructuring of the pathological process towards normalization. Thus, by controlling the state of the pathological process (and not only by methods of functional diagnostics), it is possible to optimize the therapeutic effect.

Medical studies show that the use of electrotherapeutic complexes and systems with BFB allows today to reduce the drug load by 1.5–2 times in many chronic diseases; to reduce the number of long-term and frequently ill patients by 50%, in approximately 60% of patients with neurosis, depressive and anxiety disorders, and to completely exclude the use of drugs during treatment. The uniqueness of electrotherapy methods involving the use of BFB is that, being included in the standard program of rehabilitation therapy and rehabilitation, they reduce the recovery time by 2–5 times, and also significantly reduce the frequency of repeated visits and improve the quality of life of patients [205].

SECTION 5. GENERAL AGRICULTURE

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.5.1

5.1 Research of possibilities for utilization of solid pharmaceutical raw plant material waste for fertilizer production

In an era marked by increasing environmental consciousness and resource scarcity, the exploration of innovative avenues for sustainable practices has become imperative. One such area of focus lies in the utilization of solid raw plant material waste for the production of fertilizers. This novel approach not only addresses the pressing need for effective waste management within the pharmaceutical industry but also opens doors to a potential solution for enhancing agricultural sustainability. This research endeavor delves into the possibilities and prospects of repurposing discarded pharmaceutical materials into valuable fertilizers, thereby bridging the gap between pharmaceutical production and agricultural advancement. By harnessing the untapped potential within this symbiotic relationship, we aim to contribute to a more environmentally conscious and economically viable future. This study embarks on a comprehensive exploration of the methods, benefits, and challenges associated with this innovative practice, ultimately striving to forge a path towards a more sustainable and integrated approach to waste management and agriculture.

At the current moment, most of the Ukrainian pharmaceutical manufacturers use landfilling of the solid waste. Most of these landfills located not so far from the big cities, and do not have technical capacity of sorting waste materials received neither conceive any potential trends to the environment – including but not limited to ground waters, soil, animals et cetera.

Speaking of negative consequences of the landfilling, several major points have to be considered:

1. Methane Emissions: Improperly managed landfills can release methane, a potent greenhouse gas, into the atmosphere, contributing to climate change.

2. Leachate Generation: Landfills can produce leachate, a harmful liquid that forms as water percolates through the waste, potentially contaminating soil and water resources.

3. Air and Water Pollution: Landfills can emit various pollutants into the air and water, including volatile organic compounds (VOCs), heavy metals, and other hazardous substances.

4. Land Use and Aesthetic Impact: Landfills can occupy significant land areas and may negatively impact the visual landscape, potentially affecting property values and nearby communities.

5. Wildlife and Habitat Disruption: Landfills can disrupt local ecosystems, attracting scavengers and potentially harming wildlife through contamination.

6. Biosecurity Risks: Improper handling of plant materials in landfills can pose risks for the spread of pests, diseases, and invasive species.

7. Landfill Decommissioning and Remediation Costs: Properly closing and remediating landfills after they reach capacity can be costly and time-consuming.

8. Long-Term Environmental Legacy: Landfills have the potential to leave a lasting environmental impact on the surrounding area, even after they have been closed and capped.

No all of the considered points can be applied to the solid raw plant materials waste, as number of inspections and toxicology tests are performed on this waste to ensure pharmaceutical production wasn't affected by any kind of pathogens, toxins or microorganisms.

However, as we can notice, number of it is essential especially for the target waste materials. Which leads us to the research of possible solutions of this issue.

Landfilling is the most used method of utilization around the globe. But in the recent years, rise in awareness of the climate change problems, overpopulation and some other reasons resulted a number of legislations in this method. For example, according to the European Parliamentary Research Service, all the Members States of the EU are implying rises in the tax fees for the landfill uses, and banned disposal of the bio-degradable waste on the unsuited landfills.

This measures in the EU resulted significant decrease in the waste materials deposited onto or into the land (to 41% of the total waste treatment methods) and in the land treatment and water release (to 7% of the total). Non-energy recovery or recycling is now second most used treatment. Among other treatment methods, there are also incineration (up to 6% in total) and backfilling (10%). [209]

Considering other options for the utilization of the chosen materials, all of the above should be considered.

Backfilling is the use of the solid waste in the landscaping and slope reclamations. These methods are not significantly applied to the raw plant waste – its consistency is not firm enough, and it's degradable.

Incineration of the raw materials may not be a good solution based on the low burn energy of the material. However, several studies show good results in the usage of such waste as the fuel material after the preparations (pressing, drying, etc.). These methods could also be included in the future studies of the topic.

Which leaves recycling as the most efficient way of the utilization.

For the recycling purposes, composition of the material is the first interest of the research. However, different production lines and ways may contribute to the change of the total composition significantly. Different pharmaceutical manufacturers use different raw materials for the production, these materials come from different regions and were grown in different seasons.

For the theoretical approach to the problem, we'll be concentrated on the general composition, rather than precise figures. Usually, any plant solid waste includes such components:

- Cellulose and hemi-cellulose – 70%
- Lignin – near 25%
- Leftovers of the target production compounds
- Other impurities^[210]

Such composition provides us with only several possible recycling ways. But as far as the main component of the waste is cellulose and lignin, we'll concentrate more on the methods based on its recycling.

One of the most famous ways – biogas production. Microorganism fermentation of the carbon-based molecules will produce efficient amounts of the methane, which can be collected and used as common energy source.

However, biogas production requires quite high investment amounts and qualified staff for the maintenance of it, and economical efficiency of such recycling may be under question for the local pharmaceutical manufacturers, as well as concerns about efficiency of the production – solid raw plant waste usually consists of the several different varieties of the plants, which leads to longer degradation time as well as lower yield of the methane.

Another possible problem with this method is possible presence of the inhibitory compounds, such as tannins or phenols (as a part of the leftovers most commonly) which will inhibit the growth of the microorganisms which, again, affects yield, duration and overall economical value of the recycling.[211]

Another option of recycling is usage of the waste materials as the feed materials for the animal production. High cellulose values may be a relatively good feeding materials to the ruminant animals such as cows or goats.

But yet again, composition of the waste may be an issue, as there are number of the leftovers, that have to be purified beforehand. Also, nutritional value of the waste materials is much less than in traditional feeds, such as soybean, corn or wheat.

All these factors leave only fertilization as the most efficient way of the recycling. In particular, based on the nature of the waste, composting is the most convenient way.

Multiple reasons in favor of this method can be considered:

- Investment costs of production are quite low, comparing to the other methods.
- Quite high efficiency can be achieved in this case, using different side materials to contribute in it.

- High market demand – as one of the biggest world agricultural producers, Ukraine has high demand in the fertilizers.

- Ecological fertilizer – as far as such fertilizers may not require any chemicals to fulfill needs of the plants, they can be considered ecological.

- Low pathogens count – in the composting process temperatures reach quite high, resulting partial sterilization of the material.

At the same time, aside from advantages, disadvantages should be considered as well:

- Severe area demands – as far as duration of the composting is long and all the waste should be disposed in the ground, it may be problematic to find needed areas for it.

- Process duration – usually composting process takes from 12 to 18 months to complete. This still leaves need to deposit all of the waste materials in 12-18 months period for the composting.

- Need in the additional supplements – as the main efficiency value of the fertilizer C:N ratio usually used. This means that supplements should be added to the waste to keep this ratio in the target diapason.

- Possible filtrate production which still can affect soils as well as ground waters.^[207]

Some of these advantages and disadvantages are dependable on the process of the composting itself, which brings us to the need to be more specific at the methodic used for it.

Composting process may be diversified into aerobic and anaerobic. As comes from the names, it considers presence of the oxygen in the process.

Anaerobic composting consist in dense load of the materials in hermetically closed environment (under plastic covers, or else). This way no oxygen presented in the process, and composting is performed by anaerobic microorganisms. This keeps composting quite cool comparing to the other method (25-35°C). This leads to lose of some of the advantages and additional problems with the processing. Materials are not being sterilized – considering high humidity rate needed for the composting,

development of the different fungi, pathogenic microorganisms and even possibly helminths are not under question.

Also, in the process of anaerobic conversion, chances of filtrate forming is quite high, which brings additional ecological concerns as well as economical expenses in the hermitization of the surfaces from the filtrate accessibility.

Aerobic composting, on the other hand, is much more pure and safer process to follow. Aerobic microorganisms involved in it, have a tendency to keep high temperatures for a quite long period of time, which allows compost so “self-sterilize” from pathogenic microorganisms and helminths, at the same time together with the good ventilation prevents fungi from active growth.

Aerobic process includes 3 main stages:

- Mesogenic, or mild temperature stage
- Thermophilic, or high temperature stage
- Stage of cooling and maturation

Starting on the first stage, mesogenic microorganisms are developing, quickly rising the substrate temperature. It's happening due to the consumption of the simple composites, such as proteins, monosaccharides and starches. Temperature rapidly rises from 20-25°C up to 70-80°C, which makes mesophilic bacteria less dominant and increase concentration of the thermophilic organisms. This stage may take from a few days to the 2-week period.

At the thermophilic stage, dominant forms of the microorganisms are thermophilic. However, here the difference in oxygen supply plays significant role. Levels of oxygen in the substrate have almost direct dependance on the aerobic and anaerobic bacteria rate. The more oxygen available for the process – bigger concentration of the aerobic microorganisms will be presented and vise-versa.

Meanwhile, thermophilic microorganisms are able to degrade more complex compounds – hemicellulose, pectin, cellulose and chitin. As was presented earlier, cellulose is the main compound of the target waste material and chitin is the main carbohydrate of the cell wall for the fungi, that are probably already presented in the media after the previous stage.

Another prospective of this stage is sterilization. As was mentioned, fungi are mainly destroyed by the thermophilic organisms by destroying their cell wall. At the same time, most of the pathological microorganisms are not destroyed by direct degrading – rise of the temperature is happening quite rapidly, but stays for quite a time. Duration of this stage may vary between a few days up to several months. Normally, to reach up to 90% of sterilization efficiency, temperatures above 55 °C should be maintained during at least 1 week. Efficiency increases with longer exposure.

[206,208]

Eventually, concentration of the complex compounds decreases, which leads to the decrease of the thermophilic bacteria count, with the decrease of temperature. This causes development of the mesophilic organisms described before, but at this time, rise of the temperature limited to the optimum of this mesophilic bacteria, as thermophiles no longer have needed substrate.

This transition to the last stage of maturation can last for at least 6 months. During this stage already simple compounds left can be degraded by the mesophiles and form simple molecules accessible for the plants. Mainly, this stage leads to the rise of the NO_3^- rate in the compost. [207]

For the successful composting and efficient final product several other characteristics should be considered.

First of all – moisture. This parameter should be maintained quite strictly, in the range of 50-60%, which keeps water availability high enough to develop microorganisms' growth, and keep oxygen availability on the preferable level.

Secondly, for the efficiency of fertilization, compost should have acceptable C:N ratio and can vary within 25:1 – 40:1 range. This ration considered mostly “ideal” for the active composting. Lower values considered insufficient in terms of the Nitrogen consumed. At the rate lower then 20:1, Nitrogen will not be consumed by the bacteria in full, resulting losses of it in the forms of ammonia or nitrous oxide, both of which considered greenhouse gases thereby contributing to the climate change.

At the rates too high (60:1+), there are not enough Nitrogen for the target microorganisms to grow, which will slow composting process, or even stop it completely. But values up to 60:1 might turn out as a reasonable practice in terms of less concentrated compost odors as well as decrease in maintenance need.

Some other microelements should be considered as well, such as potassium and phosphorus with sulfur. C:K, C:P and C:S ideal ratios are 100-150:1, 120-250:1 and 100:1 respectively. This values should be determined for specific plant waste materials.

In terms of additional components of the efficient compost, initial waste materials should be combined with poultry, bovine or pigs droppings at rate between 1:1 to 1:2. This will bring needed amounts of nitrogen to the compost. In addition other plant waste, such as leaves or stems of other cultures may be useful. These components will increase the aeration and moisture efficiency of the compost resulting lower maintenance need.

Considering nature of the pharmaceutical production waste, it's recommended but not obligatory to grind initial materials. These practices have great influence on both moisturization and aeration of the compost.

There are studies presented in Ukraine, that proposes similar way of solid plant waste utilization from PJSC SIC "Borshchahivskiy CPP". Study proposes to utilize poultry droppings and leaves waste, but there is not enough theoretical study to fully implement proposed method in the production.

All these methods of the utilization of the solid plant materials can have great economical and ecological value for the pharmaceutical production processes. However, for the complete implementation of the mentioned practices, full-scale research must be conducted in order to determine best ratios and processes.

Also, future researches may show some advantages of the alternative ways to utilize these solid waste materials. Ever though incineration of the waste as it is probably not as efficient, but additional processing of the initial material may increase it, which will be studied after.

5.2 Роль біодобрив для розвитку сталого та екологічного сільського господарства України

Вступ. Зростання населення та виснаженням природних ресурсів викликає необхідність підвищення продуктивності сільського господарства сталим та екологічно чистим способом. У традиційних методах ведення сільського господарства використовується велика кількість хімічних добрив для збільшення врожайності сільськогосподарських культур, що загрожує агроєкосистемам, наприклад, забруднення харчового ланцюга, погіршення якості ґрунту, забруднення води. Щоб подолати ці проблеми, необхідно перейти до сталих методів ведення сільського господарства [212].

Одним з таких методів є використання біопрепаратів для ефективного вирощування сільськогосподарських культур. Основна мета застосування біопрепаратів – зниження дефіциту природних мікроорганізмів, які були втрачені рослинами і ґрунтом протягом багатьох років проведення тотальної хімізації та агресивної механізації в аграрних технологіях. Під час використання біопрепаратів активно проходить заселення ґрунту та рослин мікроорганізмами, що є корисними для них. Результатом цього процесу є підвищення біологічної активності ґрунту, а також його родючості, рослини в свою чергу формують так званий «захисний екран», що складається з корисних мікроорганізмів. Також повертається взаємозв'язок і співпраця рослин, ґрунту та мікроорганізмів, це дає змогу забезпечити підвищення врожайності сільськогосподарських культур та досягти їх гармонійного розвитку. Особливо актуальне використання біопрепаратів восени, у зв'язку з наростаючою кількістю фітопатогенів в ґрунті та наближенням низьких температур. З огляду на це, багато компаній виробників біодобрив виводять на ринок ефективні біологічні препарати такі, як біофунгіциди, препарати для живлення та захисту, препарати для підвищення родючості ґрунту, біоприлиплювачі та біоклеї та інше. Всі ці біопрепарати призначені для вирішення різних завдань сільгоспвиробників у галузі рослинництва [213].

Потрібно також зауважити, що використання біопрепаратів не альтернатива сучасним агротехнологіям, але вони є суттєвою допомогою у підвищенні їх ефективності. Підвищення тільки натрію (N), фосфору (P) і калію (K) не може дати стовідсотковий результат.

Дія біологічних препаратів за обробки насіння базується на утворенні захисного бар'єру з живих корисних мікроорганізмів та подальшій злагодженій співпраці по живленню та захисту рослин. За обробки ґрунту Біодеструкторами живі мікроорганізми, що входять до їхнього складу, займають цю нішу і не дають розмножуватись патогенам. Крім того, за рахунок дії ферментних систем означених мікроорганізмів, рослинні рештки перетворюються на поживні елементи, доступні рослинам. Мікроорганізми біодеструкторів також покращують і мінеральне живлення рослин азотом, фосфором, калієм, залізом тощо за рахунок азотфіксації атмосферного азоту, мобілізації нерозчинних мінералів ґрунту, в тому числі фосфатів та деструкції високомолекулярних органічних речовин. За обробки біопрепаратами по вегетативній масі досягається місцева дія біологічно активних речовин. В результаті знімаються стреси, покращується та зміцнюється загальний стан рослин [214].

Тобто, біопрепарати необхідні для більш міцних здорових сходів, котрі дають поштовх до утворення міцної рослини, яка складається з добре розвинутої розгалуженої кореневої системи та наземної частини, міцних покривів, стійких до різних стресів та ураження шкідниками і збудниками хвороб. Обробка по вегетативній масі збільшує листову поверхню, кількість хлорофілу, а отже і накопичення цукрів. Вони відкладаються в рослині у вигляді крохмалю, простих цукрів, а витрачаються на енергетичні процеси. Чим більша енергетика тим краща можливість для росту та продуктивності рослин, чим більше накопичується білкових речовин та вітамінів тим менше відкладаються напівпродукти, такі, як, наприклад, нітрати. Все це слугує на користь якості отриманої продукції [215].

Використання біопрепаратів з мікробами, що стимулюють ріст рослин у своєму складі (в англійських джерелах Plant Growth Promoting Microbes –

PGPM), замість звичайних хімічних добрив, допоможе відновити агроєкосистеми.

Такі бактерії оселяються у ґрунті та мають зв'язок з ризосферою рослин, де вони стимулюють зростання та продуктивність цих рослин різними прямими та непрямими механізмами, наприклад, за допомогою фітогормонів, сидерофорів, розчинення мінералів. Бактерії використовуються для забезпечення поживними речовинами ґрунту для сільськогосподарських культур без шкоди для родючості ґрунту екологічно стійким способом [216].

Біодобрива включають різні мікроорганізми, такі як різні види бактерій, гриби, синьо-зелені водорості (ціанобактерії), водорості, а також їх метаболіти, які використовуються як добрива. Їх можна визначити як штучно створені культури ґрунтових мікробів або ґрунтові інокулянти для підвищення родючості та продуктивності ґрунту та рослин [217].

Попередні дослідження показали позитивний вплив бактерій на зростання та врожайність різних сільськогосподарських культур у різних кліматичних умовах, типах ґрунтів, а також в умовах біотичного та абіотичного стресу. Крім того, ці бактерії також успішно використовуються як засоби біологічної боротьби з різними патогенами в рослинах. В роботі представлено огляд різних механізмів, що використовуються цими бактеріями як стимулятори росту, та ролі, що виконується як агенти біологічного контролю для підвищення продуктивності, а також допоміжної ролі, яку відіграють у сталому та екологічно чистому сільському господарстві, не надаючи жодного негативного впливу на навколишнє середовище та життя і здоров'я організмів [218].

5.2.1 Стан та перспективи розвитку біологічного землеробства

Наприкінці другого тисячоліття науковці й світова спільнота почали багато уваги приділяти проблемі екології землеробства, як засадничої складової виробництва здорових продуктів харчування. Тому, все частіше актуальним стає повернення до методів господарювання без використання засобів хімічного захисту рослин та мінеральних добрив із застосуванням в якості добрив сировинних залишків і відходів органічного походження, а також природних

засобів захисту рослин. На всіх ланках від сільськогосподарської науки до виробників рослинної та плодоовочевої продукції України все частіше використовуються такі терміни, як біологічне, органічне, екологічне та біодинамічне землеробство. Ці моделі ґрунтуються на всебічному розумінні усіх процесів, що відбуваються в агроєкосистемах, вони спрямовані на відновлення родючості ґрунтів, поліпшення їх будови, зменшення токсичності та сприяють утворенню стійких в екологічному відношенні агроландшафтів.

З огляду на окреслену проблему до основних причин підвищеної уваги до екологічно безпечних форм господарювання у світі можна віднести такі:

- надмірне використання хімічних речовин протягом декількох десятиліть, починаючи із середини ХХ століття, призвело до значної шкоди навколишньому середовищу (підвищення токсичності ґрунтів, ерозія та погіршення їх родючості, виснаження природних ресурсів в загальному);

- значне підвищення цін на енергоресурси: кошти, що витрачаються на виробництво штучних мінеральних добрив і синтетичних пестицидів, в деяких випадках перевищує кошти отримані внаслідок продажу отриманих врожаїв;

- зниження доходів сільськогосподарських виробників;

- зміна суспільної думки споживачів щодо продукції, вирощеної із застосуванням хімічних добрив;

- підвищення попиту на екологічно безпечну для здоров'я людей продукцію [219].

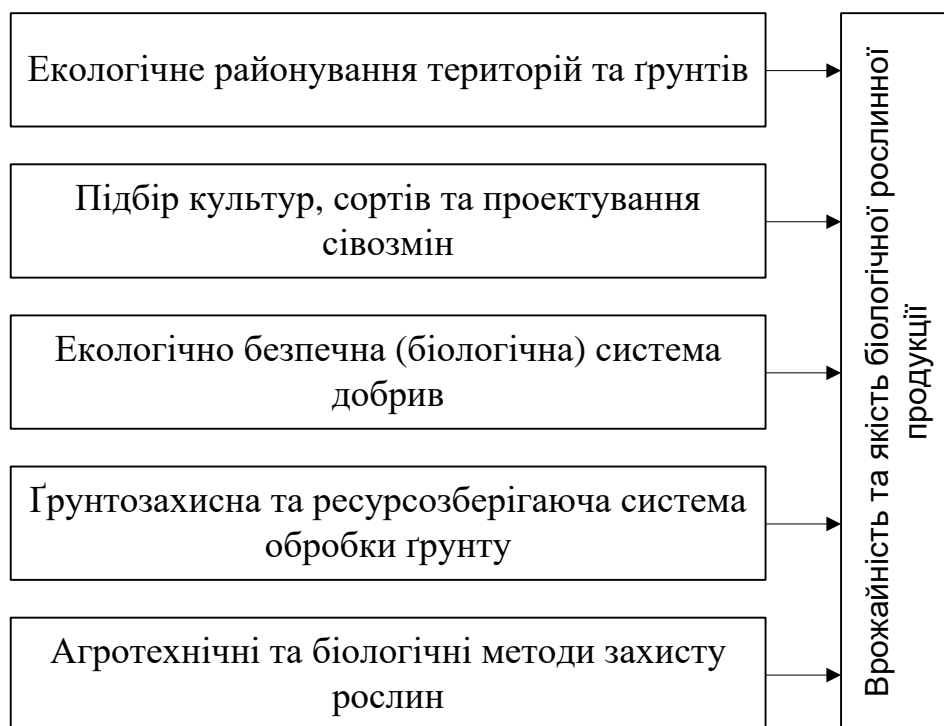
Альтернативним методом ведення сільського господарства у світі стає біологічне землеробство, яке поступово створює можливості для задоволення попиту споживачів на екологічно безпечні продукти харчування, який в останні роки постійно зростає. Країнами, що мають найбільші ринки органічної продукції в світі є Сполучені Штати Америки (48,6 млрд євро), Німеччина (15,9 млрд євро) та Франція (12,7 млрд євро). Країни з найвищим рівнем споживання на душу населення це Данія, Швейцарія, та Люксембург. Найбільші частки ринку органічної продукції спостерігаються у Данії, Швейцарії та Австрії [220]. Така структура споживання органічної продукції у світі дає змогу

стверджувати, що попит і пропозиція органічної продукції визначається рівнем економічного розвитку країн.

На сьогодні в Україні розвитком цього напрямку сільського господарства займаються: асоціація «Чиста Флора» (створена в 2011 році), Федерація органічного руху України (створена в 2005 році), міжнародна громадська асоціація виробників органічної продукції «БІОЛан Україна» (рік заснування 2002), об'єднання «Полтава-органік» (створене у 2010 році), спілка учасників органічного агровиробництва «Натурпродукт», а у 2007 році в Україні розпочав свою діяльність «Органік стандарт» – перший акредитований та сертифікаційний орган в країні, який займається сертифікацією органічного виробництва [221]. Розвиток біологічного сільського господарства в Україні, як і в багатьох інших країнах з низьким рівнем розвитку економіки, не має масового поширення, а темі органіки приділяється не достатньо уваги. Причиною цього є менша врожайність сільськогосподарських культур в порівнянні з інтенсивним землеробством. Тому, більша частина господарств у світі ще протягом досить тривалого часу спеціалізуються на веденні землеробства із використанням хімічних добрив, метою яких є одержання надприбутків від продажу більших обсягів сільськогосподарської продукції [222].

Велика кількість вітчизняних науковців в своїх дослідженнях приділяють увагу впровадженню та розвитку біологічного виробництва в Україні, однак у більшості праць, в першу чергу економічного спрямування, визначаються основні методи та засади ведення біологічного землеробства та обґрунтовується доцільність його масштабного впровадження [221, 223]. Натомість недостатньо дослідженими лишаються технологічні, біологічні і агротехнічні аспекти цієї проблеми, в першу чергу через фінансову вартість проведення польових та лабораторних досліджень.

Головні агротехнічні чинники, що визначають можливості й перспективи ведення біологічного землеробства, представлено на малюнку 1.



Малюнок 1. Чинники біологічного землеробства

1. Першим чинником та найголовнішою ланкою виробництва біологічної продукції аграрного сектору є екологічне районування земельних угідь та паспортизація сільськогосподарських ґрунтів, придатних для вирощування органічної продукції. З цією метою всі землі повинні бути розподілені за придатністю до вирощування екологічно безпечної продукції за принципом районування:

- непридатними вважаються землі, що розміщені біля підприємств екологічно небезпечного виробництва та сміттєзвалищ, а також уздовж автомобільних магістралей з інтенсивним рухом;

- обмежено придатні, до цієї категорії потрібно віднести землі фірм аграрного спрямування з інтенсивним способом ведення землеробства;

- придатні це землі тих фермерських господарств, які розміщені на територіях, що пройшли перевірку на забрудненість та визнані придатними для розвитку біологічного землеробства.

Другим кроком є паспортизація земель, які визначені для ведення біологічного землеробства. В екологічному паспорті має бути повна інформація про стан ґрунту, його агрофізичні, хімічні, біологічні та санітарно-гігієнічні

показники, їх визначення та результати моніторингового контролю, яких є першочерговим для екологічно безпечного господарювання.

2. Другий чинник який є не менш важливим для біологічного землеробства це введення в структуру посівних площ та сівозмін однорічних і багаторічних бобових культур. За рахунок таких рослин забезпечиться вирішення з одного боку, проблеми рослинного білка, а з іншого – збагачення ґрунту азотом без внесення мінеральних азотних добрив [224].

Окрім цього деякі сільськогосподарські культури засвоюють поживні речовини із важкорозчинних фосфоровмісних сполук, зокрема такі рослини, як люпин, гірчиця біла та гречка дуже добре поглинають фосфор із таких сполук. Ці рослини перетворюють важкорозчинні форми фосфору в доступні шляхом підкислення ґрунту, що дозволяє покращити фосфорне живлення сільськогосподарських культур, які висіватимуться після них. Варто також звернути увагу на підбір стійких видів рослин їх сортів і гібридів, які можна адаптувати до ґрунтово-кліматичних умов кожного окремого господарства.

Враховуючи вищесказане можна зробити висновок, що головне місце в середині другого чинника біологічного землеробства займає сівозміна, оскільки від неї залежить вибір системи удобрення та обробітку ґрунту, системи захисту рослин від хвороб, шкідників і бур'янів, а також заходів, що запобігають ерозійним процесам ґрунту. Ігнорування сівозміни призводить до значного підвищення рівня шкідників культурних рослин, їх забур'яненості та до такого розповсюдження інфекційних хвороб рослин, як епіфітотії, що суттєво позначається на кількості та якості врожаю сільськогосподарської продукції.

3. Третім чинником біологічного землеробства є внесення добрив у полях сівозміни. Під час застосування системи землеробства, що пов'язана з інтенсивною хімізацією більшість фермерських господарств проводять внесення високих доз мінеральних добрив. У біологічному землеробстві навпаки головна роль у підживленні рослин належить органічним добривам, як традиційним, так і нетрадиційним їх видам. Серед популярних органічних добрив, що мають важливий резерв для поповнення нестачі поживних речовин у ґрунті це

наприклад солома, вермикомпост, сидеральні добрива [224].

Проте, у деяких випадках, внесення органіки без розуміння її особливостей може призвести до несподіваних наслідків. Це пов'язано з тим, що різні види добрив мають свою специфічну дію, і деякі з них є універсальними в своїй ефективності. Наприклад, солома пшениці озимої може мати свою власну специфічну дію, в той час як підстилковий гній є універсальним. Тому, під час застосування соломи чи сидеральних культур як добрива з відносно високим співвідношенням вуглецю до азоту, мікроорганізми, які розкладають рослинні залишки, можуть почати використовувати азот з ґрунту і перетворювати його в форми, які рослини не можуть негайно використовувати, аж поки це співвідношення не зменшиться. Науковцями раніше було розраховано, що для розкладу 1 тонни соломи в системі традиційного внесення добрива потрібно додатково ввести в ґрунт 8-10 кг/га мінерального азоту, тоді як для органічного внесення можна використовувати сечовину або розведений водою пташиний послід.

Слід також розуміти, що підвищення доз органічних добрив вище норми може призводити до накопичення в сільськогосподарській продукції важких металів, нітратів та інших токсичних речовин, а також до вилягання посівів. Дослідження деяких вітчизняних та зарубіжних науковців показали, що внаслідок внесення у ґрунт надмірної кількості органіки в ньому підвищується концентрація хімічних елементів в кількості, що є шкідливою для рослин. Це такі важкі метали як кадмій, свинець, цинк, мідь, марганець, залізо [225]. Також слід враховувати, що важкі метали з ґрунту виводяться дуже повільно, тому тривале надходження, навіть невеликих кількостей, свинцю або кадмію призводить до значного збільшення концентрації їх у ґрунті, яка з часом може досягати критичних показників. З цього виходить, що одним із головних правил яким повинен керуватись сільськогосподарський виробник перед внесенням органічних добрив це визначення походження органічного добрива та проведення аналізів його якісних показників.

Сидеральні посіви мають набути значного поширення в системі

біологічного землеробства задля збагачення ґрунту органічною речовиною. Це дасть змогу поліпшити фітосанітарну ситуацію в посівах та ґрунтовому середовищі, а також захистити ґрунт від вітрової та водної ерозії. Це такі сільськогосподарські культури, як, наприклад редька олійна, гірчиця біла, райграс однорічний та капуста кормова, горох овочевий або буркун білий, які, окрім підвищення вмісту органічної речовини у ґрунті, також ефективно впливають на вирівнювання азотного балансу в ґрунтовому середовищі. Останніми роками використання в якості джерела органічної речовини багаторічних трав та біоорганічних добрив набувають також важливого значення. Через функціонування землеробства України в умовах дефіциту азоту, фосфору й інших поживних речовин, а також за від'ємного балансу гумусу, необхідно впроваджувати широке застосування біопрепаратів, які створені у вітчизняних лабораторіях українськими мікробіологами, для майбутнього землеробства країни це стане першим суттєвим кроком для розвитку і фінансової прибутковості [226].

4. Четвертим чинником системи біологічного землеробства є охорона раціональне використання та наукове обґрунтування система обробітку ґрунтів. В умовах переходу господарств на біологічну систему господарювання необхідно приймати до уваги ґрунтово-кліматичні умови підприємства, присутність у ґрунті засмічень у вигляді насіння бур'янів, фінансові можливості фермерського господарства щодо придбання ґрунтообробних знарядь, ґрунтозахисних біологічних препаратів, добрив, а також біологічно-генетичні особливості рослин які планує вирощувати господарство з розумінням попередників у сівозміні. Тому, основні завдання і мета щодо проведення обробки ґрунту полягають у позиціях представлених на малюнку 2.



Малюнок 2. Завдання обробітку ґрунту у біологічному землеробстві

До загальноприйнятих біологічних заходів зменшення конкурентоспроможності бур'янів відносяться пригнічення, або затінення озимими зерновими, бобовими культурами, однорічними травами, коноплею, суданською травою, соняшником, сорго тощо [224]. Головною особливістю біологічних методів є їх дуже короткий перелік окремих бур'янів на який вони мають вплив, а засмічення посівів сільськогосподарських культур, як правило, відбувається багатьма різними видами засмічуючи рослин. Тому за допомогою методу, що базується на біологічній складовій доцільно боротися з найбільш злісними бур'янами (амброзією полинолистою, берізкою польовою, осотом польовим, гірчаком звичайним, повитицею та деякими іншими), що важко винищуються агротехнічними й хімічними методами [227].

При сучасних умовах та рівні розвитку органічного землеробства можливості використання біологічних методів боротьби з бур'янами, що базуються на застосуванні вірусів, кліщів або грибів на даний момент дуже ускладнені та обмежені через неможливість підбору таких видів шкідників, які б стримували розвиток бур'янів і не мали негативного впливу на сільськогосподарські рослини.

Біологічне землеробство також має певні складнощі в боротьбі зі

шкідниками та хворобами сільськогосподарських культур, але на сьогодні також існує ряд шкідників і хвороб, що вкрай важко знищити лише заходами пов'язаними з агротехнікою, тому доцільність застосовувати методів, що є нешкідливими для навколишнього середовища стає актуальною. Саме до таких методів відносять біологічні методи, які базуються на застосуванні паразитуючих та хижих організмів, таких, як трихограми або зеленоочки та інших. Науковці з НААН та НАН України останніми роками все більше вивчають і частково впроваджують у виробництво біологічні препарати [226]. Проте вітчизняний і світовий досвіди стверджують, що використання окремих заходів у біологічному землеробстві не можуть повністю забезпечити бажаний ефект. Тому їх потрібно суміщати з рештою заходів, які присутні в системі землеробства, через те, що всі вони тісно взаємопов'язані і перебувають у постійному зв'язку.

5.2.2 Застосування біодобрих у сучасних агротехнологіях

Зростання потреб у рослинництві та виробництві продуктів для харчування величезного населення екологічно чистим та економічно ефективним способом призвели до живого інтересу та вимоги до використання біодобрих не тільки для підвищення продуктивності, але й для збереження якості ґрунту та здоров'я довкілля, а також живих істот [228].

Рослинам, як і організму людини, необхідні біологічно активні речовини – гормони, вітаміни, амінокислоти тощо. Саме біологічно активні речовини, цукри та мінеральні речовини у необхідній кількості забезпечують безперебійну роботу рослинного організму. Вчасне постачання цих необхідних рослинні речовин забезпечують ендofітні та ризосферні мікроорганізми. Окрім живих бактерій та мікроскопічних грибів (мікроміцетів), до складу біологічних препаратів можуть також входити і дуже необхідні рослинам природні біологічно активні речовини, які виробляють мікроби.

При внесенні біодобрих в ґрунт, вони колонізуються в ризосфері або всередині рослин, на поверхні проростків або насіння або в ґрунті та сприяють зростанню, прискорюючи доступність основних поживних речовин для рослини [229, 230]. Ці біологічні агенти також покращують фізичні, хімічні та біологічні

властивості ґрунту, а також забезпечують доступність поживних речовин для рослин [231].

Стан якості ґрунту, здоров'я рослин та вмісту поживних речовин багато в чому залежить від діяльності або взаємодії мікробних угруповань у ґрунтовій системі, особливо навколо ділянок ризосфери [232]. Ці бактерії активно сприяють поглинанню, розчиненню, мобілізації та мінералізації поживних речовин, що допомагає стимулювати зростання рослин та пригнічувати хвороби [233-235].

Діяльність зі стимулювання росту рослин, розчинення поживних речовин (N, P, K, Zn та S), виробництво сидерофорів, передача сигналу в рослинах та боротьба зі шкідниками є найбільш поширеними процесами, керованими мікробними співтовариствами, присутніми у ґрунті [229, 233, 236].

Ці процеси відповідають за посилення зростання та врожайності сільськогосподарських культур. Залежно від цих якостей мікробні біодобрива використовують для підвищення врожайності різних економічно важливих основних продовольчих культур, таких, як пшениця, рис, ячмінь, кукурудза, картопля [237]. Крім того, застосування добрив або біодобрив з контрольованим або повільним вивільненням перешкоджає збільшенню викидів N_2O , які зрештою сприяють забрудненню повітря та глобальному потеплінню [238].

Виробництво недорогих і ефективних біодобрив включає кілька етапів, починаючи з вибору відповідного носія, виділення та скринінгу мікробів для пошуку найбільш сильнодіючих, до проходження декількох тестів, перш ніж масштабувати його від стадії одного флакона до комерційної стадії [239, 240]. Також важливо знайти дешевшу сировину з високим вмістом поживних речовин, джерел вуглецю та азоту та використовувати її як субстрат або можливе рідке середовище для культивування мікроорганізмів. Деякі галузі змушені платити за звільнення від відходів або зазнають труднощів з їх переробкою. Таким чином, ці відходи та побічні продукти можна використовувати як можливі субстрати для розробки екологічно чистих біодобрив. Більше того, біодобрива можна адаптувати для забезпечення рослин азотом, фосфатом, цинком або іншими

поживними речовинами у різних типах ґрунтів з використанням певних типів бактерій порівняно з відсутністю використання добрив чи хімічними добривами [241].

Таким чином, застосування біодобрив дає численні переваги, оскільки покращує фізико-хімічні властивості ґрунту, перешкоджає забрудненню навколишнього середовища, підвищує продуктивність екологічно чистим, економічно ефективним та стійким способом [242].

5.2.3 Ризосфера та корисні для рослин мікроорганізми

У ґрунтах існує переважна кількість мікроскопічних форм життя, причому бактерії є найбільш поширеним типом (приблизно 95 %) [243]. Ризосфера є важливою «гарячою точкою» для цих мікроорганізмів, демонструючи широке бактеріальне розмаїття та активність, яка різко контрастує з тим, що виявляється в основній масі ґрунту, який на кілька порядків нижче [244, 245]. Ризосфера визначається як вузька область ґрунту, що прилягає до коріння рослин, на яку фізично та хімічно впливає активність та зростання коренів [246]. Це дуже складна мікросистема, в якій взаємодіє коріння рослин, ґрунт та мікроорганізми. За оцінками, ця багата поживними речовинами зона містить 10^{11} мікробних клітин на грам ґрунту, включаючи бактерії, гриби, найпростіших, нематод та безхребетних [247]. Це результат загальної взаємодії рослини та мікроорганізмів, а також ряду факторів, таких як рН ґрунту, температура, вологість, неорганічні поживні речовини та кореневі виділення [248]. Останнє має особливе значення, оскільки велика різноманітність корневих ексудатів є постійним джерелом поживних речовин та енергії, які стимулюють мікробну активність, зростання та різноманітність [249].

Бактерії, асоційовані з рослинами, можна класифікувати як шкідливі, нейтральні або корисні залежно від їхнього впливу на рослини. Отже, безперервне виділення корневих ексудатів (відоме як ризовідкладення) служить механізмом, що потребує високих витрат вуглецю (C) та азоту (N), і є ключовим фактором, що визначає мікробні співтовариства. Тип і склад ризовідкладень можуть залучати корисні мікроорганізми та відштовхувати несприятливі.

Кореневі ексудати, виявлені в ризосфері різних видів рослин, містять, наприклад, амінокислоти, цукри, органічні кислоти, жирні кислоти, флавоноїди, фактори росту та ферменти [247]. На їх частку може припадати до третини вуглецю, що закріплюється рослиною [243]. Таким чином, рослини забезпечують вітаміни, гормони, токсини та сполуки-антагоністи, які сприяють росту корисних для рослин видів бактерій [250]. З іншого боку, бактерії можуть сприяти зростанню та розвитку рослин, поставляючи доступні для рослин поживні речовини, послаблюючи біотичний та абіотичний стрес та захищаючи рослини від патогенів [247]. Бактерії відіграють життєво важливу роль у поглинанні та транспортуванні поживних речовин рослинами, керуючи кругообігом важливих поживних речовин. Вони впливають на структуру коренів та метаболізують кореневі виділення, які реабсорбуються рослинами [246].

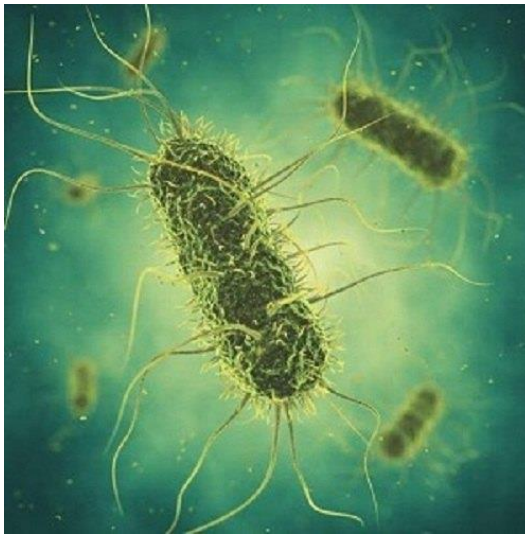
5.2.4 Бактерії, що стимулюють ріст рослин

Ще у 1978 році Клоппер і Шрот [251] дали визначення «ризобактерії» тим ґрунтовим бактеріям, які колонізувалися в коренях рослин та сприяли зростанню та розвитку рослин, інгібуючи хвороби рослин. Пізніше, в 1980 Клоппер і Шрот [252] використовували для позначення мікробів термін «ризобактерії, що сприяють росту рослин» (від англійської PGPR – Plant Growth Promoting Rhizobacteria). В даний час концепція ризобактерій, що сприяють росту рослин обмежується бактеріальними штамми, які відповідають як мінімум двом із трьох критеріїв, а саме агресивної колонізації, стимулюванню росту рослин та біологічному контролю. Залежно від існування та їх зв'язку з рослинами ризобактерії, що сприяють росту рослин можуть бути ризосферними або ендofітними. Ризосферні бактерії колонізують область поверхні кореня або поверхневі міжклітинні простори коріння рослин (малюнок 3), тоді як ентофітні бактерії колонізуються в апопластах всередині рослин [253].

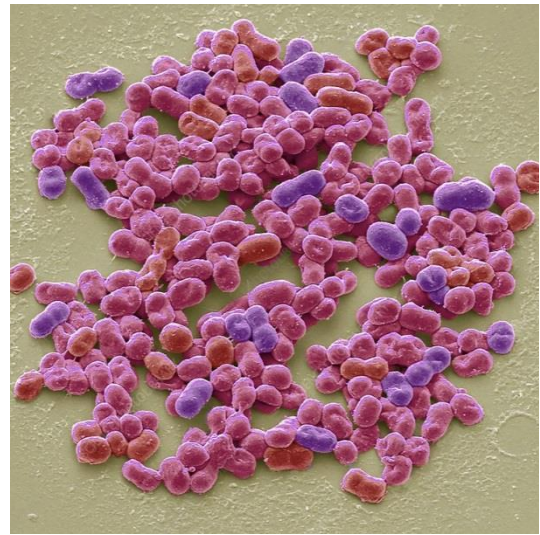


Малюнок 3. Зовнішній вигляд ризосферних бактерій

Ризобактерії, що стимулюють ріст рослин містять азотфіксуючі та симбіотичні бактерії, наприклад, різні види *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Mycobacterium*, *Bacillus*, *Azobacter*, *Serratia*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Clostridium* [232] (малюнок 4). Ці бактерії фіксують атмосферний азот в органічних формах та роблять його доступним для рослин (малюнок 4). Було визначено, що один грам ризосферного ґрунту вміщує в собі від 10^7 до 10^9 колоній-утворюючих одиниць (КУО), а щільність популяції бактерій, яка міститься в одному грамі ризоплану, може становити від 10^5 до 10^7 колоній-утворюючих одиниць.



Azospirillum



Azotobacter



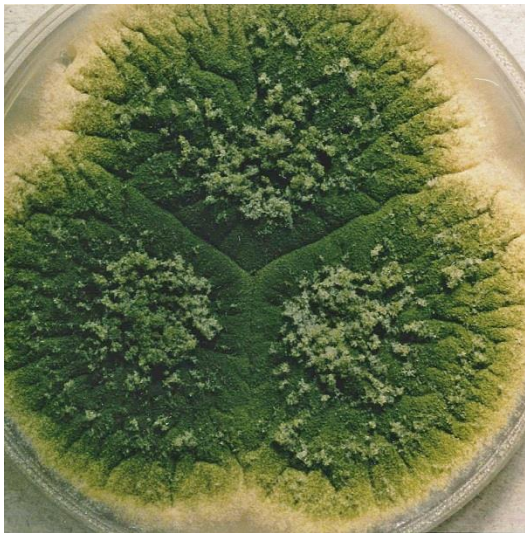
Pseudomonas



Rhizobium

Малюнок 4. Ризобактерії вигляд під мікроскопом

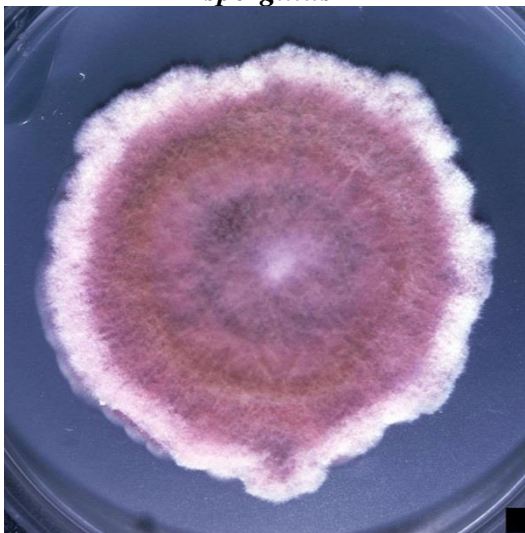
Деякі гриби також сприяють росту рослин (від англійської PGPF – Plant Growth Promoting Fungi). До них відносяться різні види грибів, такі як *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma* та інші (малюнок 5). Ці гриби укладають симбіотичні відносини з коренями рослин у формі мікоризи та сприяють поглинанню та засвоєнню необхідних поживних важкодоступних речовин з гумусу, активізують діяльність ферментів рослин, своїми ферментами впливають на вуглеводний обмін, фіксують вільний азот та за допомогою сполук передають його рослинам разом з речовинами, що сприяють росту та надають рослинам збуджуючий вплив на їх ріст та розвиток [241].



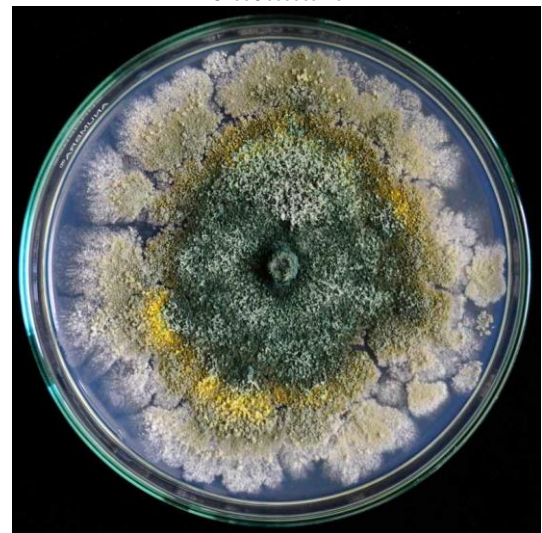
Aspergillus



Penicillium



Fusarium



Trichoderma

Малюнок 5. Види грибів що сприяють росту рослин

Ціанобактерії – це такий тип бактерій, які одержують необхідну енергію для життєдіяльності через фотосинтез. Їх більш застаріла назва, «синьо-зелені водорості», в основному спиралась на зовнішній вигляд та екологічну нішу ціанобактерій, але на сьогоднішній день термін «водорості», як правило, обмежують еукаріотичними представниками групи.

Ціанобактерії включають різні види: *Oscillatoria*, *Nostoc sp.*, *Anabaena*, *Tolypothrix* та інші (малюнок 6). Вони допомагають у фіксації азоту, що забезпечує збагачення ґрунту поживними речовинами. Крім ціанобактерій, як можливі біодобрива також використовувалися червоні і бурі водорості [229].



Anabaena



Nostoc sp.



Oscillatoria



Tolypothrix

Малюнок 6. Ціанобактерії вигляд під мікроскопом

Вони можуть збільшувати пористість ґрунту за рахунок своєї ниткоподібної структури та утворення речовин, що склеюють, секреції фітогормонів (ауксину, гібереліну), вітамінів та амінокислот [251]. Крім того, вони збільшують вміст поживних речовин у ґрунті за рахунок їх загибелі та розкладання, а також запобігають проникненню бур'янів та хвороботворних мікроорганізмів. Всі ці заходи допомагають покращити зростання та розвиток рослин і, зрештою, продуктивність [229].

Ризобактерії, що стимулюють ріст рослин (PGPR), та гриби, що стимулюють ріст рослин (PGPF), є важливою частиною біодобрив. Ці два види бактерій мають широкий спектр застосування в галузі сільського господарства,

але основна мета їх використання це підвищення продуктивності за рахунок стимулювання росту рослин та пригнічення патогенів. Таким чином, основні сфери застосування цих двох біодобрих це стимулятор росту та біологічний контроль.

Основною метою застосування PGPR і PGPF у сільському господарстві є підсилення росту та розвитку рослин, які зрештою мають вищу продуктивність, не завдаючи при цьому жодної шкоди екології [254, 255]. Таким чином, ці два основні компоненти біодобрих повинні діяти як стимулятори росту. Основними механізмами, що беруть участь у стимулюванні росту рослин, є вироблення фітогормонів, таких як β -індолилцтова кислота, абсцизова кислота, цитокінін та етилен, які допомагають у розподілі клітин, подовженні та розширенні клітин, появи проростків, розвитку квітів та фруктів, соматичному ембріогенезі. З іншого боку, ці мікроби беруть участь у розчиненні фосфатів, фіксації азоту, виробництві сидерофорів, HCN, аміаку, вітамінів, таких як ніацин, тіамін, рибофлавін, а також допомагають у рості та розвитку рослин [229].

Було виявлено, що група видів PGPR таких, як: *Klebsiella sp.*, *Klebsiella pneumonia*, *Bacillus spumilus*, *Acinetobacter sp.* та *B. subtilis* збільшили продуктивність кукурудзи за рахунок різних механізмів, включаючи посилену фіксацію азоту, розчинення фосфатів та виробництво β -індолилцтової кислоти. Також відомо, що деякі біодобрива виділяють сполуки, такі як δ -амінолевулінова кислота, яка допомагає знизити екологічний стрес і сприяє росту рослин рису [256]. Було виявлено, що використання деяких ризосферно-компетентних штамів *Trichoderma*, як біодобрих збільшилося через їх позитивний вплив на стимуляцію росту рослин і поглинання поживних речовин, збільшення швидкості проростання насіння та стимуляція захисту рослин від біотичних та абіотичних стресів [242]. Аналогічним чином, попередні дослідження різних дослідників показали, що PGPR і PGPF потенційно діють як стимулятор росту та успішно підвищують продуктивність або врожайність культур, (таблиці 1, 2) [257, 258, 259, 260, 261].

Таблиця 1. Вплив PGPR на параметри росту культур

PGPR	Культурні рослини	Вплив
<i>Bacillus amylo liquefaciens</i> , <i>Bacillus pumilus</i> , та <i>Glomus intraradices</i>	Томат	Покращення росту рослин, врожайності та поглинання поживних речовин
<i>Azospirillum Lipoferum</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> та <i>P. putida</i> .	Кукурудза	Збільшення кореневої біомаси, загальної біомаси та продуктивності
<i>Providencia sp.</i> , <i>Alcaligenes sp.</i> , <i>Anabaena oscillarioides</i> та <i>Anabaena torulosa</i> .	Пшениця	Поліпшення зростання та біомаса сільськогосподарських культур.
<i>Pseudomonas jessenii</i> та <i>Pseudomonas synxantha</i> .	Пшениця, рис	Збільшення врожайності зерна, концентрації сирого білка та мінеральних поживних речовин (P, K, Cu, Fe, Mn) у зернах пшениці і рису, покращення якості ґрунту.
<i>Bacillus sp.</i> , <i>Providencia sp.</i> та <i>Brevundimonas diminuta</i>	Пшениця	Покращені параметри росту та продуктивність
<i>Bacillus Polymyxa</i> , <i>Azotobacter chroococcum</i> та <i>Azospirillum barasilense</i> .	Пшениця	Поліпшення всіх параметрів росту з більшою врожайністю пшениці.
<i>Rizobium sp.</i> та <i>Pseudomonas sp.</i>	Квасоля	Поліпшення параметрів росту рослин, загальної маси зерна та врожайності, вмісту проліну та співвідношення K^+/Na^+ у польових умовах, схильних до засолення.
<i>Anabaena torulosa</i> , <i>Azotobacter sp.</i> , <i>Mesorhizobium sp.</i> , <i>Serratia sp.</i> та <i>Pseudomonas sp.</i>	Пшениця	Поліпшення біологічних та хімічних властивостей ґрунту.
<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Arthrobacterchromophenicus</i> та <i>Enterobacter sp.</i>	Пшениця	Були збільшені висота рослин, врожайність зерна, вихід соломи, натурна маса та вміст мікроелементів.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Pseudomonas putida</i> та <i>Pseudomonas fluorescens</i> .	Рис	Збільшення врожайності зерна, росту рослин, вмісту поживних речовин у зерні та солоні рису.
<i>Bacillus amylo liquefaciens</i> , <i>Bradyrhizobium japonicum</i> .	Соя	Підвищена колонізація коренів рослин та кількість бульбочок
<i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Bacillus amylo liquefaciens</i> , <i>Serratia marcescens</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Імбир	Вища схожість, менша захворюваність і більший врожай кореневища.
<i>Ризобиевые</i>	Рапс	Поліпшення схожості насіння та росту рослин.
<i>Sphingomonas sp.</i> , <i>Bacillus sp.</i>	Томат	Збільшення біомаси пагонів та коренів, а також вмісту хлорофілу.
<i>Azospirillum sp.</i> , <i>Azoarcus spp.</i> та <i>Azorhizobium sp.</i>	Пшениця	Поліпшення росту коренів, стійкість до стресів навколишнього середовища та зниження втрат азоту.

Таблиця 2. Вплив PGPF на параметри росту культур

PGPF	Культурні рослини	Вплив
<i>Trichoderma</i> sp.	Квасоля	Поліпшення росту розсади квасолі
<i>Trichoderma</i> sp.	Квасоля, нут	Поліпшені компоненти врожайності та зростання всіх рослин.
<i>Trichoderma harzianum</i>	Томат	Поліпшення виходу за рахунок збільшення загального вмісту сухих розчинних речовин, цукру, аскорбінової кислоти, β -каротину, лікопіну, вмісту P і Mn.
<i>Trichoderma harzianum</i>	Пшениця	Значне збільшення врожайності пшениці
<i>Trichoderma</i> sp .	Огірок	Збільшення схожості насіння та покращення параметрів зростання.
<i>Trichoderma viride</i>	Капуста та буряк	Прискорене зростання
<i>Trichoderma asperellum</i>	Нут	Поліпшене проростання насіння та зростання рослин для обох рослин.
<i>Trichoderma asperellum</i>	Меліса лікарська	Стимулювання зростання із збільшенням сухої маси трави
<i>Pleurotustuber-regium</i> , <i>Lentinus squarrosulus</i> та <i>Ganoderma</i> sp.	Пшениця і томат	Збільшення параметрів зростання за рахунок активності хітінази та ефіру, вироблення сидерофорів та розчинення фосфатів.

5.2.5 Металофіти та фіторемедіація металозабруднених ґрунтів

Забруднення важкими металами є однією з найсерйозніших екологічних небезпек нашого часу. Зростаюча урбанізація та індустріалізація призвели до видобутку руди, що постійно зростає, і переробки видобутих елементів для численних потреб [262].

Забруднення ґрунту металами в основному пов'язане з сільським господарством, гірничо-видобувною промисловістю. Основними антропогенними джерелами забруднення є використання агрохімікатів, таких як добрива, гербіциди і пестициди, водостік з відходів гірничої промисловості, каналізаційних шламів, промислової та побутової стічної води, а також зрошення сільськогосподарських угідь забрудненою водою [263]. Також значним шляхом забруднення ґрунту металами є атмосферне осідання металів і металоїдів з аерозолів, що виділяються під час гірничої та металургійної діяльності,

виробництва цементу, переробки електронних відходів, електростанцій на паливних горючих, спалювання відходів та використання транспорту [264]. У земних екосистемах ґрунт – це основне місце для зберігання металів, що потрапляють в навколишнє середовище, а кількість територій, що забруднені металами по всьому світу дуже велика. На відміну від органічних речовин, метали не підлягають розкладанню і, якщо їх не видаляють або не мобілізують, вони залишатимуться в ґрунті після їхнього введення. Деякі з найпоширеніших металів і металоїдів в забруднених областях – це миш'як (As), кадмій (Cd), хром (Cr), мідь (Cu), свинець (Pb), ртуть (Hg), нікель (Ni) та цинк (Zn) [264]. Ці елементи відомі тим, що потрапляють в ланцюг харчування, накопичуються в тканинах живих організмів (біоаккумуляція) і збільшують свою концентрацію, переходячи від нижнього до верхнього трофічного рівня (біомагніфікація). Метали можуть мати небезпечні токсичні ефекти навіть при дуже низьких концентраціях, а отже, їх накопичення в навколишньому середовищі становить серйозний ризик для рослин, тварин і людини. Багато ґрунтів забруднених металами повністю позбавлені рослин, що в кінцевому підсумку призводить до серйозної ерозії ґрунту та забруднення водних резервуарів. Забруднення металами також шкідливе для ґрунтових мікроорганізмів та змінює природні мікробні спільноти, зменшуючи їх кількість і активність [255]. У людини гострий і хронічний вплив металів та металоїдів може призвести до різноманітних шкідливих ефектів на здоров'я, таких як шкірні захворювання, серцево-судинні захворювання, порушення поведінки та розлади уваги, порушення нервової та імунної систем, розлади шлунково-кишкової та ниркової функції, рак та інші ускладнення [256]. Тому вирішення питання про реабілітацію забруднених металами ґрунтів вимагає належної уваги для мінімізації їхнього руйнівного впливу на екосистеми і, в кінцевому підсумку, на здоров'я людини.

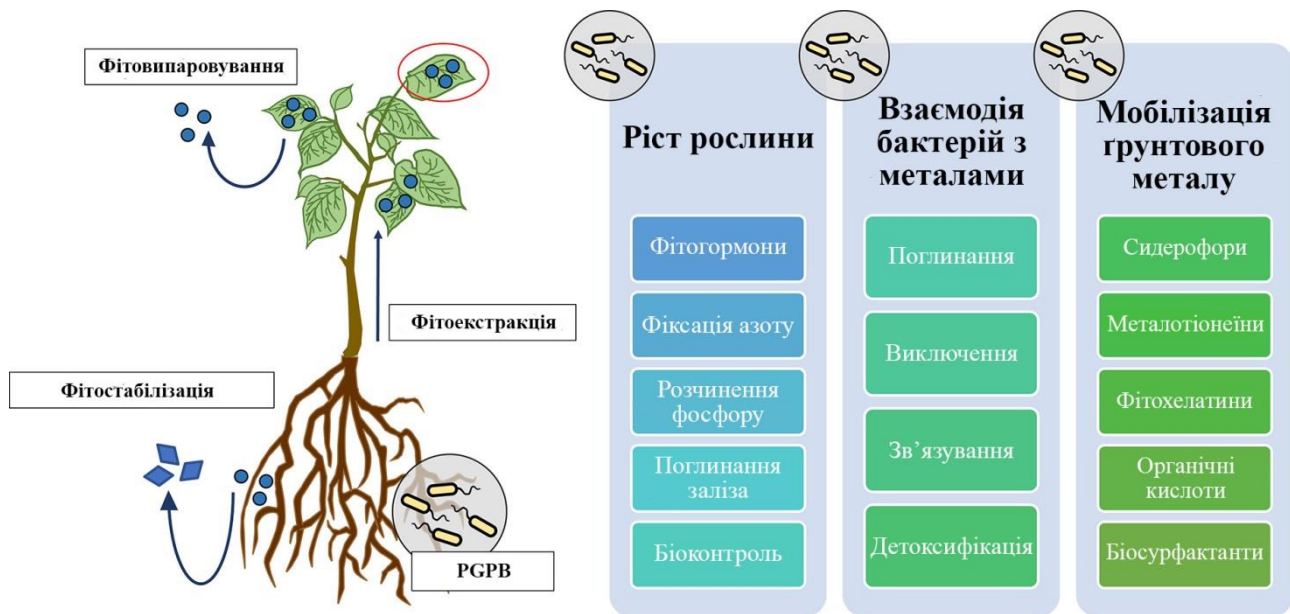
Отже, концентрації металів або металоїдів у ґрунтах зростаються із року в рік, представляючи великий ризик для довкілля та здоров'я людини через високу токсичність деяких з цих елементів [265]. Для вирішення проблеми забруднення ґрунту важкими металами можуть бути застосовані фізичні та хімічні методи

відновлення. Однак ці стратегії є дорогими, вимагають інтенсивної роботи, змінюють властивості ґрунту та порушують природний мікробіом ґрунту. Крім того, хімічне очищення може також викликати інші шкідливі побічні ефекти. Більш стійким та екологічним підходом до рекультивації ґрунтів, забруднених важкими металами, є фіторемедіація. Ця стратегія полягає у використанні рослин та пов'язаних з ними ґрунтових мікробів для зниження токсичної дії або концентрації забруднюючих речовин у навколишньому середовищі. На відміну від традиційних методів, фіторемедіація визнана економічно ефективною, неінвазивною та екологічно безпечною. Більше того, оскільки технологія рослинного походження, вона також естетично приємна, працює на сонячній енергії та підходить для великомасштабного польового застосування [266]. Незважаючи на численні прориви, досягнуті за останні три десятиліття, ця фітотехнологія постійно розвивається. Ефективна фіторемедіація забруднених важкими металами ґрунтів передбачає використання методів керування ґрунтом та рослинами, таких як застосування органічних добрив, хелатуючих агентів та мікробних інокулянтів. Останнє є відносно новою, цікавою та багатообіцяючою концепцією, оскільки ґрунтові мікроорганізми є важливим компонентом екосистеми та відіграють вирішальну роль у підтримці родючості ґрунту. Стійкі до металів штами, що відібрані рослинами, мають вирішальне значення для детоксикації металів у металоносних ґрунтах, оскільки вони допомагають рослинам витримувати токсичність металів і покращувати поглинання металів. Ці мікроорганізми набули ряду метаболічних здібностей, які дозволяють їм процвітати при підвищених концентраціях металів у ґрунті, і відомо, що вони накопичують, трансформують та детоксикують метали. Враховуючи першорядну роль бактерій у забруднених металами ґрунтах, розуміння їх функцій та розробка стратегій підтримки здорового мікробіома ґрунту мають вирішальне значення для покращення та підтримки систем фіторемедіації, а отже, мікроорганізми мають життєво важливе значення для відновлення функцій та біорізноманіття екосистем [267].

Вживання рослин у сильно забруднених металами ґрунтах часто обмежується обраною групою рослин, відомих як металофіти, і загальне здоров'я рослин виявляється під загрозою. У цьому контексті рослинно-мікробні асоціації, що займаються управлінням стресом від металів, є ще одним цінним виміром стандартної фіторемедіації.

Створення рослинності на безплідних, забруднених металами ділянках запобігає ерозії та вилуговуванню металів. Рослини зазвичай справляються із забруднювачами, не торкаючись верхнього шару ґрунту, тим самим зберігаючи корисність ґрунту. Вони також покращують біорізноманіття, родючість ґрунту за рахунок надходження органічних речовин та сприяють фіксації CO₂ в атмосфері. До металофітів відносяться рослини, спеціально пристосовані до ґрунтів, багатих на метали. Ці рослини розвинули біологічні механізми завдяки природному відбору протягом тривалих термінів еволюції, піддаючись впливу багатих металами середовищ, що дозволяє їм переносити та процвітати в умовах, токсичних для звичайних рослин. Однак слід зазначити, що ці механізми можуть дати збій, якщо концентрації металів у ґрунті перевищать певні межі. Металофіти можна класифікувати як облігативні для яких наявність металів в ґрунті обов'язкова або факультативні – вид який не обмежений тільки ґрунтами багатими на метали. Більше того, металофіти також включають рідкісну та чудову групу рослин, відому як гіперакумулятори через їхню здатність накопичувати у своїх пагонах велику кількість металів [268].

Фіторемедіацію можна розділити на три різні підгрупи залежно від типу забруднення та складу. У контексті забруднення ґрунту металами особливо ефективні дві стратегії: фітостабілізація та фітоекстракція (малюнок 7) [269].



Малюнок 7. Роль бактерій у стимуляції росту рослин, утворенні металів у ґрунті та фіторемерації

Фітостабілізація зосереджена на зниженні рухливості та біодоступності металів, обмеженні їх вилуговування та попадання в ґрунтові води та харчовий ланцюг відповідно. Тим не менш, це є стратегією управління, а не постійним рішенням, оскільки метали лалишаються у ґрунті, а отже, регулярний моніторинг має вирішальне значення при використанні цього. Фітоекстракція полягає в поглинанні металів з ґрунтів та їх переміщенні та накопиченні в пагонах рослин з подальшим збиранням та безпечною утилізацією біомаси. Це краща стратегія зниження концентрації металів у ґрунті без істотного впливу на властивості ґрунту. Однак слід зазначити, що залежно від концентрації металів та ефективності процесу фітоекстракція може зайняти тривалий період часу для досягнення цільової мети відновлення. Крім того, окремі гіперакумулятори також можуть бути використані як культури з яких можна вилучити цінні елементів, такі як золото, нікель і реній – процес, який отримав назву фітомайнінгу або агромайнінгу. Варто зазначити, що фітоекстракційний потенціал рослини багато в чому визначається концентрацією металів у пагонах та виходом біомаси [270]. В результаті двома основними підходами до фітоекстракції металів є використання гіперакумуляторів та/або металофітів, що

демонструють високу продукцію біомаси та відповідне поглинання металів. Отже, ефективність фітоекстракції можна підвищити за рахунок збільшення як росту рослин, так і біодоступності металів у ґрунті. Третя підгрупа фіторемедіації, відома як фітовипаровування, також може використовуватися для боротьби з металевими забруднювачами, такими як As і Hg. У цьому процесі рослина поглинає метал і перетворює його на летючу форму для викиду в атмосферу через пори. Однак слід зазначити, що оскільки забруднювач просто переміщається з ґрунту в атмосферу, він, швидше за все, буде перевідкладений у вихідному середовищі. Крім того, у програмах фіторемедіації необхідно враховувати такі фактори, як швидкість росту рослин, глибина та розподіл кореневої системи, толерантність до токсичності металів, характеристики ґрунту, стійкість до патогенів та шкідників, а також адаптація до екологічних та кліматичних умов. Таким чином, розуміння цих рослинно-мікробних асоціацій при фіторемедіації має вирішальне значення для рекультивації ґрунтів, забруднених металами [233].

5.2.6 Механізми стимулювання росту рослин мікробами

Мікроорганізми, що стимулюють ріст рослин виявляють різні механізми, які прямо чи опосередковано допомагають стимулювати або поліпшувати ріст та розвиток сільськогосподарських рослин і у кінцевому підсумку призводять до збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Прямі механізми – це ті, які беруть участь у синтезі речовин мікробами або допомагають засвоювати поживні речовини з довкілля [243]. До них відносяться розчинення фосфатів, азотфіксація, виробництво сидерофору, синильної кислоти, аміаку, вітамінів і фітогормонів (таких як ауксин, цитокінін та гібереліни) [228, 232].

Мікроорганізми, що фіксують азот, постійно перетворюють атмосферний N_2 на доступні для рослин форми, такі як аміак і нітрати завдяки дії складного ферменту нітрогенази. Макроелемент фосфор часто знаходиться у нерозчинній формі, недоступній для рослин [243]. Фосфатрозчинні бактерії важливі для збільшення рівнів доступного для рослин фосфору. Цей процес може відбуватися завдяки виділенню ферментів, таких, як фосфатази, фітази, ліази та

інших, та низькомолекулярних органічних кислот (оцтова, яблучна, сукцинінова і лимонна кислоти). Деякі мікроорганізми також можуть перетворювати Fe^{3+} в Fe^{2+} , які стають легкодоступним для рослин і відіграють центральну роль в різних метаболічних функціях. Ця трансформація здійснюється за допомогою сидерофорів, білків, які синтезуються бактеріями і можуть зв'язуватися з широким спектром металів, тим самим підвищуючи їх доступність для рослинного поглинання [271].

Крім того, бактерії збагачують рослини фітогормонами, такими як оксини, цитокіни та гіббереліни, які відповідають за підвищення росту рослин і можуть, також, запобігати фітотоксичності металів. Ці фітогормони, в залежності від виду, можуть відповідати за стимулювання проростання насіння, ріст коренів, ріст пагонів і розширення листя завдяки подовженню, поділу і диференціації клітин, серед інших корисних ефектів. Найважливіший ауксин, який синтезується бактеріями це β -індолилоцтова кислота (IAA). Також відомо, що мікроорганізми виробляють фермент 1-аміногідроксипропан-1-карбоксилат (ACC) деаміназу, який регулює рівні етилену в рослинах. У негативних умовах рослини виробляють шкідливі кількості етилену, важливого стресового гормону, який в високих концентраціях стає шкідливим. Етилен вважається багатофункціональним рослинним гормоном, який регулює ріст і старіння). Таким чином, ACC деаміназа важлива для нормалізації рівнів цього фітогормону [272].

Непрямі механізми – це ті, які не беруть безпосередньо участі в поліпшенні росту, але синтезують різні неорганічні та органічні сполуки за допомогою різних механізмів. Це відбувається під час вироблення різноманітних антибіотичних сполук, відомих, як алелохімікати, які забезпечують захист від патогенів. Алелохімікати включають антибіотики, синильну кислоту (HCN), літичні ферменти та сидерофори. Антибіотики, які синтезуються RGPB, такі як пірролітрин, феназини, флороглюциноли, циклічні ліпопептиди та ліпопептиди, відіграють важливу роль у запобіганні росту інших бактерій і грибів. Деякі RGPB також виявляють ціаногенну активність (виділення HCN),

яка, крім того, часто використовується для біозахисту, підвищуючи дію бактеріальних антибіотиків. Відомо, що літичні ферменти відлякують поширення грибкових патогенів шляхом гідролізу складових клітинної стінки [243]. Окрім біозахисту, ці ферменти також відіграють роль у переробці поживних речовин через розкладання органічних решток, що підвищує доступність поживних речовин. Сидерофори сприяють біозахисту, запобігаючи патогенам отримувати залізо, обмежуючи їх розмноження.

Бактерії також сприяють процесу, відомому як індукований системний захист, який відповідає за більш ефективну і швидку реакцію проти великої кількості патогенів. Крім того, деякі RGPB здійснюють біозахист, просто конкуруючи з патогенами у здобутті ресурсів і колонізації ризосфери [273]. На рисунку 8 схематично зображено роль ризобактерій у стимуляції розвитку рослин.



Рисунок 8. Механізми поліпшення росту сільськогосподарських культур

5.2.6.1 Біологічна азотфіксація

Азот (N) є сьомим за поширеністю елементом на Землі і стає обмежуючим фактором через його втрати з сільськогосподарських полів у вигляді стоку та змиття [274]. N є компонентом хлорофілу та білка і, отже, необхідний для фотосинтезу, а також вегетативного, репродуктивного росту та розвитку рослин [236]. Цей елемент зазвичай представлений у нерозчинних неорганічних формах. Мікроби, присутні в біодобривах, переводять газоподібний азот у розчинні форми і роблять його доступним для рослин в органічних формах, особливо у формі нітратів (NO_3^-) та амонію (NH_4^+). Таке перетворення атмосферного азоту на амоній і нітрати отримало назву «азотфіксація». Різні види *Azotobacter sp.*, *Rhizobium sp.*, *Azospirillum sp.*, *Acetobacter sp.*, *Herbaspirillum*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Plectonema*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Trichoderma sp* та інші – мікроби, що широко використовуються в біодобривах, відомі своєю здатністю фіксувати атмосферний азот і брати участь у підтримці циклу азоту на Землі [233]. Фіксація атмосферного азоту може бути симбіотичною або не симбіотичною залежно від штаму бактерій. Сучасні дослідження демонструють інокуляцію насіння бактеріями *Herbaspirillum seropedicae* і визначають, що це підвищує концентрацію азоту в тканині листя кукурудзи за рахунок збільшення біологічної фіксації азоту цими діазототрофними бактеріями. Список різних біодобрив, що містять різні види PGPR, наведено у таблиці 3 [275].

Таблиця 3. Вплив фітогормонів на стимуляцію росту рослин.

Мікроби	Фітогормони	Рослина	Реакція рослин
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	1-аміноциклопропан-1-карбоксилат (АСС) дезаміназа	Кукурудза	Поліпшення росту рослин та фіксації N
<i>Streptomyces sp.</i>	Виробництво β -індолилцетової кислоти та розчинення неорганічних фосфатів	Соя	Зростання рослин покращилося на 77%

Продовження таблиці 3

<i>Pseudomonas</i> sp.	Виробництво β - індолилоцтової кислоти та розчинення фосфатів	Соняшник	Поліпшене зростання рослин
<i>Pseudomonas</i> <i>putida</i>	Виробництво β - індолилоцтової кислоти	Квасоля	Поліпшені параметри зростання
<i>Bacillus</i> sp.	АСС дезаміназа та хелатування	Пшениця	Суха маса кореня збільшена
<i>Bacillus</i> <i>mucilaginosus</i>	Створення білків та полісахаридів	Часник	Поліпшені параметри зростання
<i>Bacillus</i> <i>mucilaginosus</i>	α -кетоглюконова кислота	Томат	Поліпшення засвоєння К та Р та біомаси на 125 %.
<i>Pseudomonas</i> <i>aeruginosa</i>	Вироблення саліцилової кислоти	Соняшник	Поліпшене зростання

Діазотрофи, що сприяють росту рослин і здатні зв'язуватися з корінням рослин, широко використовуються як інокулянти для підвищення врожайності сільськогосподарських культур та зменшення використання хімічного азотного добрива. Науковцями були поставлені досліди в яких оцінювалося, як ендоефітний *Pseudomonas stutzeri*, яким було інокульовано насіння кукурудзи, покращував зростання рослин та вміст азоту в рослинах. Ефекти інокуляції та різних водних режимів також оцінювалися для ризосферних і поверхневих ґрунтових спільнот кукурудзи. Результати підтвердили, що кукурудза, інокульована *Pseudomonas stutzeri*, зростала краще і накопичувала більше азоту через 60 днів, ніж рослини, інокульовані хімічними препаратами. Позитивний вплив інокулянта на рослину коливається в діапазоні від 0,3 до 0,82 г азоту на рослину, залежно від водних умов. Інокуляція *Pseudomonas stutzeri* суттєво змінила склад діазотрофної спільноти, внаслідок чого *Pseudomonas stutzeri* став домінуючим у ризосфері, а також збільшила популяцію аборигенних діазотрофів та окислювачів аміаку та транскриптів функціональних генів. Аналіз надмірності показав, що ґрунтовий відсік та обробка інокуляцією *Pseudomonas stutzeri* були основними факторами, що впливають на розподіл діазотрофної спільноти [275].

5.2.6.2 Розчинення фосфору

Фосфор (P) є другим найбільш важливим макроелементом після азоту і іноді стає обмежуючим фактором через недоступність та втрат зі стоками. P відіграє значну роль у зростанні та розвитку рослин, оскільки він необхідний для фотосинтезу, дихання, зберігання та передачі енергії у живих рослинних клітинах [228]. Виявлено, що у багатьох ґрунтах спостерігається дефіцит фосфору, хоча вони можуть мати велику кількість загального фосфору як резерву. Це відбувається через недоступність розчинної форми P, оскільки рослини можуть поглинати P в органічних розчинних формах. Біодобрива покликані перетворювати неорганічні форми фосфору в органічні шляхом підкислення, секреції органічних кислот або протонів, хелатоутворення та обмінних реакцій, що робить його доступним для рослин для його легкого засвоєння та посилення росту і розвитку рослин. [233]. Визначено, що різні види *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Burkholderia*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* та інші. значно розчиняють фосфор [253]. В деяких роботах науковців наголошується, що застосування *Aspergillus awamori* значно покращило зростання сої, загальний вміст фосфору в ґрунті та біомасу рослин. Також зазначається [275], що застосування штаму *Azospirillum brasilense* та штаму *Herbaspirillum seropedicae* збільшувало розчинність фосфору та посилював зростання кукурудзи. Аналогічним чином, *Aspergillus niger* діє як гриб, що розчиняє фосфор, і посилює зростання рослин за рахунок збільшення вмісту доступного фосфору в ґрунті. *Acinetobacter sp.* та *Bacillus sp.* виявляють солестійкість і здатність розчиняти фосфати, а також посилювали зростання за рахунок вищого індексу енергії, збільшення відсотка схожості, біомаси рослин, вмісту фенолів та антиоксидантної активності порівняно з не інокульованими рослинами [276].

5.2.6.3 Виробництво сидерофорів

Це низькомолекулярні сполуки, які виробляються в умовах обмеження заліза і мають здатність хелатувати іон тривалентного заліза (Fe^{3+}) і транспортувати його в мікробні клітини [230]. Термін «сидерофор» був уперше

придуманий у 1973 році і визначений як молекули з низькою молекулярною масою, які мають тенденцію пов'язувати тривалентне залізо з надзвичайно високою спорідненістю. Сидерофори класифікуються за наявністю лігандів, що хелатують тривалентне залізо. До них відносяться катехолати, гідроксамати та карбоксилати [277]. Залізо є важливим мікроелементом і потрібне рослинам як кофактор білків для їх різної фізико-хімічної та метаболічної активності включаючи фотосинтез та дихання [233]. Хоча вони є у ґрунті у великих кількостях, оскільки це четвертий за поширеністю елемент на Землі, вони зазвичай недоступні для поглинання рослинами або мікробами через їх нерозчинні складні форми [272]. Сидерофори, що виробляються біодобривами, роблять його доступним для рослин шляхом перетворення на розчинне і хелатуюче з доступного складного органічного або неорганічного заліза [233, 253]. Сидерофори також пригнічують шкідників і бур'яни, позбавляючи їх поживної речовини, що містить залізо, і, таким чином, допомагають поліпшити ріст і розвиток рослин і підвищити врожайність сільськогосподарських культур [274]. Хімічні структури сидерофорів утримують багаті електронами або атоми, такі як кисень або азот, які мають здатність зв'язуватися з катіонами металів. Проведені провідними дослідниками світу дослідження показали визначну роль різних штамів мікроорганізмів таких як наприклад *Stenotropomonas chelatiphaga*, що виробляють сидерофори, у стимулюванні зростання та активності біоконтролю.

5.2.6.4 Виробництво фітогормонів

Фітогормони – це речовини природного походження, які виробляються всередині рослин і регулюють зростання та розвиток рослин за допомогою різних фізіологічних та метаболічних дій, таких як поділ клітин, подовження стебла, гальмування, зростання коренів, активація розвитку бруньок та гілок, сприяння або затримка старіння листя, виробництво хлорофілу [233, с. 61]. Вони також діють як посередники для синхронізації та регулювання абіотичних стресових реакцій та взаємодій рослин та патогенів [278]. Вони в основному складаються з ауксину (β -індолилцтової кислоти), цитокініна, етилену,

гіберелінів і абсцизової кислоти, тоді як до цієї категорії також додані деякі нові фітогормони, наприклад brassino-стероиды, жасмонати і стриголактони, які повинні допомогти рослинам переносити абіотичний стрес [230, 278, 259]. β -індолилцтова кислота входить до складу ауксину і є основним попередником клітинного поділу та подовження, що впливає на зростання стебла. Аналогічно, цитокінін також активує поділ клітин та сприяє стимулюванню росту рослин, регулюючи біосинтез та біогенез хлоропластів [278]. Етилен – перший газоподібний фітогормон, який регулює зростання та старіння рослин, а також допомагає переносити стресові умови [230]. Однак надлишок етилену може вплинути на здоров'я рослин у вигляді скручування і вкорочування коренів. Дезаміназна активність рістрегулюючих мікробів допомагає рослині боротися з такими проблемами та стимулює зростання рослин у стресовому середовищі [233]. Крім того, абсцизова кислота покращує захисний механізм рослин і бореться з різними патогенами, регулює відкриття та закриття продихів і допомагає рослинам вижити в умовах біотичних та абіотичних стресів. Аналогічним чином, гібереліни також є важливими гормонами, що стимулюють зростання рослин, і беруть участь у процесах розвитку та фізіологічних процесах, таких як проростання насіння, поява сходів, індукція цвітіння та зростання плодів [279]. Мікроби, такі як *Pseudomonas*, *Rhizobacteria*, *Trichoderma*, *Azobacter*, *Bacillus* та інші, що присутні в різних біодобривах, виділяють ці фітогормони і допомагають у зростанні та розвитку рослин [253]. На додаток до цього, корисні рістрегулюючі бактерії є потенційними виробниками цих фітогормонів, посилюють індуковану системну стійкість (ISR) та системну набуту стійкість (SAR), які борються з патогенами та зміцнюють імунну систему рослин [232]. Різні дослідники повідомили про позитивну роль ріст регулюючих мікробів у стимулюванні росту рослин та стійкості до стресу за рахунок виробництва різних фітогормонів, наприклад різні штами *Azospirillum*, *Azobacter*, *Bacillus*, *Kluyvera*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobacteria* і *Rhizobium*, потенційно виробляють величезну кількість ауксину. Також виявлено, що штами *Bacillus licheniformis* і *Pseudomonas fluorescens*, виділені з

ризосфери винограду, глибоко синтезує абсцизову кислоту і знижує водний стрес у рослин. Крім того, ці мікроби також виробляють β -індолилцтову кислоту та гіберелінові кислоти, які також сприяють стійкості рослин до умов водного стресу [280]. Секреція гіберелінової кислоти бактеріями *Pseudomonas putida* допомагає рослинам сої справлятися з сольовим стресом, а також посилює зростання рослини. Аналогічним чином, корисна роль різних мікробів за допомогою виробництва фітогормонів у рості рослин та управлінні стресом в екстремальних умовах довкілля представлена у роботах також тут описана здатність цих фітогормонів інгібувати інвазію різних патогенів, включаючи бактерії, віруси, гриби, нематоди тощо [281].

5.2.6.5 Виробництво антибіотиків та ферментів

Каталази, аскорбатпероксидази, пероксиредоксини, глутатіонпероксидази, глутатіон S-трансферази, аміноциклопропан-1-карбоксилат (АСС)-дезаміназа та інші є ферментами, що беруть активну участь у метаболічній та антагоністичній діяльності рослин та мікробів [253]. Біодобрива, що містять рістрегулюючі мікроби, виробляють ці ферменти та антитіла, які регулюють зростання та розвиток, а також пригнічують патогенну активність [230]. У біодобривах присутні різні мікроби, такі як *Pseudomonas* sp. *Bacillus* sp. *Streptomyces* sp. та інші, вони мають тенденцію виробляти 2,4-діацетилфлороглюцінол, β -1-3-глюканази, хітінази, антибіотики амфізин, феназин, ооміцин А, трополон, піолутеорин, тензин, пірролінітрин [253]. Ці речовини мають антибіотичні, антибактеріальні, протигрибкові, противірусні, протиглистові, протимікробні, антиоксидантні та протипухлинні властивості. Вони ефективно конкурують з патогенами, захищають рослини від їх шкідливого впливу та сприяють правильному зростанню та розвитку рослин. Так, наприклад, вироблення ферментів протеази та ліпази з різних видів ріст регулюючих мікробів, таких як *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Xanthomonas* та *Agrobacterium* sp., що виділяються з Валеріани лікарської.

5.2.6.6 Виробництво аміаку та синильної кислоти

Виробництво аміаку (NH_3) та синильної кислоти (HCN) також є одним із важливих факторів, що сприяють росту рослин, які допомагають інгібувати патогенні мікроорганізми [228, 230]. HCN є летючим вторинним метаболітом, що пригнічує розвиток патогенів та негативно впливає на їх зростання та розвиток. HCN допомагає хелатувати іони металів та розчиняти фосфати [233].

Виробництво NH_3 та HCN не залежить від роду або виду бактерії. Обидві ці сполуки сприяють постачанню азоту рослині і росту кореня та пагона, покращенню біомаси та, тим самим, підвищенню продуктивності кукурудзи. Синильна кислота, що вироблена такими бактеріями, як *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Alcaligenes* та *Aeromonas*, підвищує ефективність антигрибкової активності цих бактерій [233].

5.2.6.7 Розчинення цинку

Цинк (Zn) – це мікроелемент, необхідний рослинам для регуляції виробництва деяких білків, а також відіграє каталітичну і структурну роль в метаболізмі рослин у дуже низьких концентраціях (5-100 мг/кг) [282]. Він переважно споживається рослинами у вигляді двовалентного катіону Zn^{2+} , але у вапняних ґрунтах та ґрунтах з високим рН він споживається у вигляді одновалентного катіону ZnOH^+ [233]. Дослідженнями європейських науковців було доведено, що мікроби, присутні в біодобривах, розчиняють цинк, присутній у ґрунті, та активують його для різних метаболічних та катаболічних процесів. *Trichoderma sp.*, *Providencia sp.*, *Anabaena sp.*, *Calothrix sp.*, *Anabaena. sp.* та деякі інші бактерії значно розчиняють Zn і допомагають стимулювати зростання та підвищувати продуктивність різних рослин, включаючи пшеницю [282].

5.2.7 Роль біодобрив у біологічному контролі

Біодобрива складаються з живих мікроорганізмів та біорозкладних речовин, які широко використовуються для покращення якості ґрунту та допомагають запобігти появі хвороботворних мікроорганізмів, діючи як агент біологічного контролю [230]. Інвазія фітопатогенів, у тому числі різних бактерій, вірусів, нематод тощо, є основною причиною зниження продуктивності та якості

сілськогосподарських культур. Використання хімічних пестицидів для позбавлення від патогену не є розумним рішенням, оскільки вони не тільки забруднюють довкілля та харчовий ланцюжок, але і є дорогими [254]. Таким чином, використання біологічного контролю порівнюючи з ними є ефективним, економічно вигідним та екологічно чистим підходом. PGPR і PGPF виробляють різні органічні та неорганічні речовини, антитіла, які зменшують атаку патогенів і сприяють зростанню та розвитку рослин. Далі PGPR і PGPF виробляють кілька ферментів і антитіл, що гідролізують целюлозу, геміцелюлозу, хітин і білки, присутні в клітинах патогенів [255].

Виробництво ферментів хітинази за допомогою PGPF сприяють лізису клітинних стінок гіф фунгальних патогенів та захищають рослини, тоді як естерази розщеплюють кутин і суберин в кутикулах рослин. [233]. Виробництво сидерофорів PGPRs і PGPFs створює конкуренцію за заборту заліза між рослинами, мікробами і патогенами, що пригнічує рост патогенів. Крім того, вони також конкурують з патогенами за їхні потреби в харчах та просторі та пригнічують їхнє помноження в ризосфері. *Serratia plymuthica* C48, *Serratia marcescens*, *Paenibacillus* sp., *Streptomyces* sp. і *Pseudomonas stutzeri* виробляють фермент хітиназу, який розкладає міцелій грибкових патогенів [230]. β -1,3-глюканаза, вироблена *Streptomyces*, *Paenibacillus* і *Bacillus* sp., розкладає клітинну стінку грибків. Використання різних видів *Trichoderma* як антагоністів до різних патогенів зросло в останні кілька років. Згідно досліджень, *Trichoderma* sp. виробляє антигрибкові метаболіти і створює конкуренцію за простір та поживні речовини, що сприяє успішному пригніченню *T. asperellum* у боротьбі з чорною гниллю ананасів, викликаною грибком *Thielaviopsis paradoxa*. Крім того, інші біодобрива, які часто використовуються, містять різні види *Pseudomonas*, *Bacillus* та мікоризу, які мають здатність реалізовувати механізми ISR і SAR та детоксифікувати фітопатогени, що сприяє підвищенню захисту рослин від різних патогенів. Також PGPR і PGPF допомагають у виробленні фітогормонів, таких як β -індолилцтова кислота, цитокінін, етилен, гібереліни, саліцилова кислота, жасмонати, етилен та інше [255].

Висновки. Сільськогосподарський сектор відчуває величезну потребу у воді та енергії для задоволення потреб у харчуванні постійно зростаючого населення. Цей сектор споживає близько 70% поверхневих та підземних вод та 30 % світового виробництва енергії. Крім того, в даний час основні глобальні проблеми в галузі сільського господарства пов'язані із стійкими, економічно ефективними та екологічно чистими процедурами підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. За оцінками, глобальне виробництво продуктів харчування має бути збільшено як мінімум на 70 % до 2050 року, щоб задовольнити потреби постійно зростаючого населення в усьому світі. Недавня оцінка також показує, що чисельність світового населення зростає з великою швидкістю і, за прогнозами, до 2050 вона перевищить 2,4 мільярда осіб. Це призводить до надмірного використання хімічних добрив для підвищення врожайності продовольчих культур.

Проте витрати на енергію у сфері сільського господарства в основному включають споживання хімічних добрив, гербіцидів, пестицидів, техніки, насіння тощо. На додаток до цього, виробництво синтетичних добрив (NPK, промисловий синтез аміаку) і пестицидів використовує більше 1 % світового виробництва енергії, оскільки її виробництво залежить від вищих температури та тиску. Щорічне виробництво синтетичних азотних добрив становило близько 50 мільйонів тонн, при цьому споживалося близько $2,36 \times 10^{12}$ МДж енергії та виділялося 95,4 мільйона тонн еквівалента CO₂ та 19 тисяч тонн еквівалента SO₂.

Ці хімічні речовини забруднюють ґрунт, поверхневі та ґрунтові води через сільськогосподарські стоки, що може призвести до евтрофікації водойм, забруднюють навколишнє повітря викидами парникових газів і зрештою досягають вищого трофічного рівня за рахунок забруднення харчового ланцюга. Для пом'якшення негативного впливу синтетичних добрив на довкілля та підтримки продовольчої безпеки та зв'язку між водою, продовольством та енергією зростає інтерес до застосування мікроорганізмів для вирощування продовольчих культур. Різні попередні дослідження продемонстрували різні

переваги мікробних біодобрив для зростання та врожайності різних культур, таких як пшениця, рис, кукурудза, цибуля, соя тощо.

Ці біодобрива мають різні склади, що містять різноманітні живі мікроорганізми, здатні забезпечувати поживні речовини за допомогою біологічних процедур. Ці мікроби колонізуються в коренях і ризосферних областях після інокуляції на насіння або в ґрунт і по-різному сприяють зростанню та розвитку рослин. Вони безпосередньо допомагають пов'язувати атмосферний азот, виробляти сидерофори і розчиняти багато важливих мінералів, таких як цинк і фосфор, а також виробляти рослинні гормони, синтезувати деякі леткі сполуки або катаболічні ферменти, які допомагають у зростанні та розвитку рослин. Інші непрямі механізми дії мікробних стимуляторів росту рослин, що беруть участь у різних процесах, таких як виробництво вторинних метаболітів, що володіють антибіотичною дією або протигрибковими речовинами, інсектицидів та імунодепресантів, а також стимуляторів захисної системи рослин, що усуває атаку фітопатогенів. PGPF конкурують з фітопатогенами за простір та харчування та усувають їх завдяки своїм антибіотичним властивостям.

Отже, біодобрива можуть здійснювати різноманітні корисні взаємодії з рослинами, що призводить до значущих відкриттів у галузі стійкого та екологічно чистого сільського господарства. Основна перевага використання біодобрив перед хімічними добривами і пестицидами полягає в тому, що вартість виробництва продовольчого зерна знижується за рахунок більш низьких вимог до іригації, що виснажує рівень ґрунтових вод, та техніки, яка потребує або електрики, або викопного палива в генераторах, при транспортуванні його на поля. На додаток до цього, занепокоєння для худоби викликає шумове забруднення та викиди вихлопних газів, що викликають забруднення повітря. Ці проблеми можна звести до мінімуму за допомогою PGPR і PGPF замість хімікатів у польових умовах. Крім того, покращення виробництва продуктів харчування та енергетичної безпеки можна досягти за рахунок застосування біотехнологій, біопалива, біодобрив, скорочення експлуататорського

споживання за рахунок більш стійкого та ефективного використання ресурсів та скорочення відходів.

Постійно зростаючий попит на енергетичну та продовольчу безпеку вимагає першочергової уваги в сучасну епоху технологій. Розумним є використання зелених технологій для задоволення потреб у продовольстві та енергії шляхом застосування біодобрив, біопестицидів, тощо у сільськогосподарському секторі. Крім того, необхідні також поведінкові зміни, які включають відповідальне та стійке споживання природних ресурсів, мінімальне застосування хімікатів для підвищення продуктивності, скорочення утворення відходів, переробку та повторне використання відходів, щоб виявити компроміси та зменшити їх кількість між аспектами експлуатації ресурсів людиною та управління ресурсами Землі стійким та екологічно чистим способом.

SECTION 6. INNOVATIVE TECHNOLOGIES

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.6.1

6.1 The effect of pollution of component surfaces as a result of possible contact of fresh nuclear fuel with sea atmosphere on corrosion

Analysis of the information was performed on possible effect of components of sea atmosphere in case of their precipitation on the assembly surfaces on the corrosion of structural materials of items of fuel assemblies (FAs) of water-water energetic reactor (VVER-1000) in their subsequent operation. The data are presented on static and dynamic tests of alloy E-110 at temperatures of 300-350 °C in water and standard coolant of the reactor polluted with chlorides and iodine, as well as of alloy E-110 under special pollution of its surface with chlorides. It is demonstrated that in keeping the conditions of storage of fresh fuel, as well as the recommendations of the present work, its high corrosion resistance and operability in further operation is ensured.

Key words: reactor, coolant pollution, corrosion, sea atmosphere, standard coolant.

Introduction

Salinity of water in different parts of the ocean is approximately similar and equal to 35 g/L. Among the ocean salts, the major ones are sodium and magnesium chlorides and sulphates. Among the chlorides, the basic dissolved compounds are: NaCl (27 g/L), MgCl₂ (6 g/L), KCl and CaCl₂ (1 g/L each) [283-287]. Namely such compounds and in such ratio are recommended to be taken for preparation of solution in climatic tests of the equipment under the conditions of sea (salt) fog [288-290].

Besides for the above-mentioned, the ocean water contains almost all of the remaining chemical elements, but to a considerably lesser extent. Average content of organic compounds is 2 mg/L. Approximately the same ratio of these substances is contained in aerosols formed in the surf region and transferred with air [287].

In case of loss of integrity of packing of fresh fuel, during its storage in coastal region, the indicated aerosols will get to the assembly components and with the increase in humidity, for example, in the rain period, could lead to formation on the

metal surface of thin films of electrolytic solutions with the governing elements being the chlorides mentioned above.

Thus, the conditions appear for electrochemical processes on metal surfaces. As indicated in the paper of [287], from the neutral solutions of chlorides, the chlorine-ions are concentrated in the slots, their concentration becomes 15 time higher than outside the slot that could affect the corrosion of zirconium alloy E-110. Such slots in FA are, for examples, the places of spacing grids contact with fuel rod clads.

In operation of FAs, the indicated salts will be washed by the coolant from the metal surface and then removed from the coolant with the help of ion exchangers of water purification system. However, temporary increase in concentration of chlorine-ions in the coolant is possible and could affect the corrosion resistance of zirconium components of assemblies. This problem shall be considered separately.

Besides, the chlorides will be washed out from the slots slower and under the effect of reactor radiation may transfer into other substances capable to interact with zirconium or oxide surface film on zirconium. When the zirconium surface is polluted with chlorine, the corrosion resistance of the former may change significantly. This problem also needs to be considered separately [287].

Corrosion of alloy E-110 in water containing 0.5-500 mg/L of chlorine-ions at 300 °C and equilibrium steam pressure

The paper of [285] focuses on the effect of concentration of Cl⁻ ions in water on corrosion of zirconium alloy E-110 at 300 °C. In this study by the data of the analysis, the initial distilled water contained not more than 0.5 mg/L of chlorine ions in total.

Results of autoclave tests in water with different content of chlorine-ions (0.5 mg/L, 5 mg/L and 500 mg/L) are shown in Figure 1. The curve of alloy corrosion in water without addition of chlorides is also presented there [287].

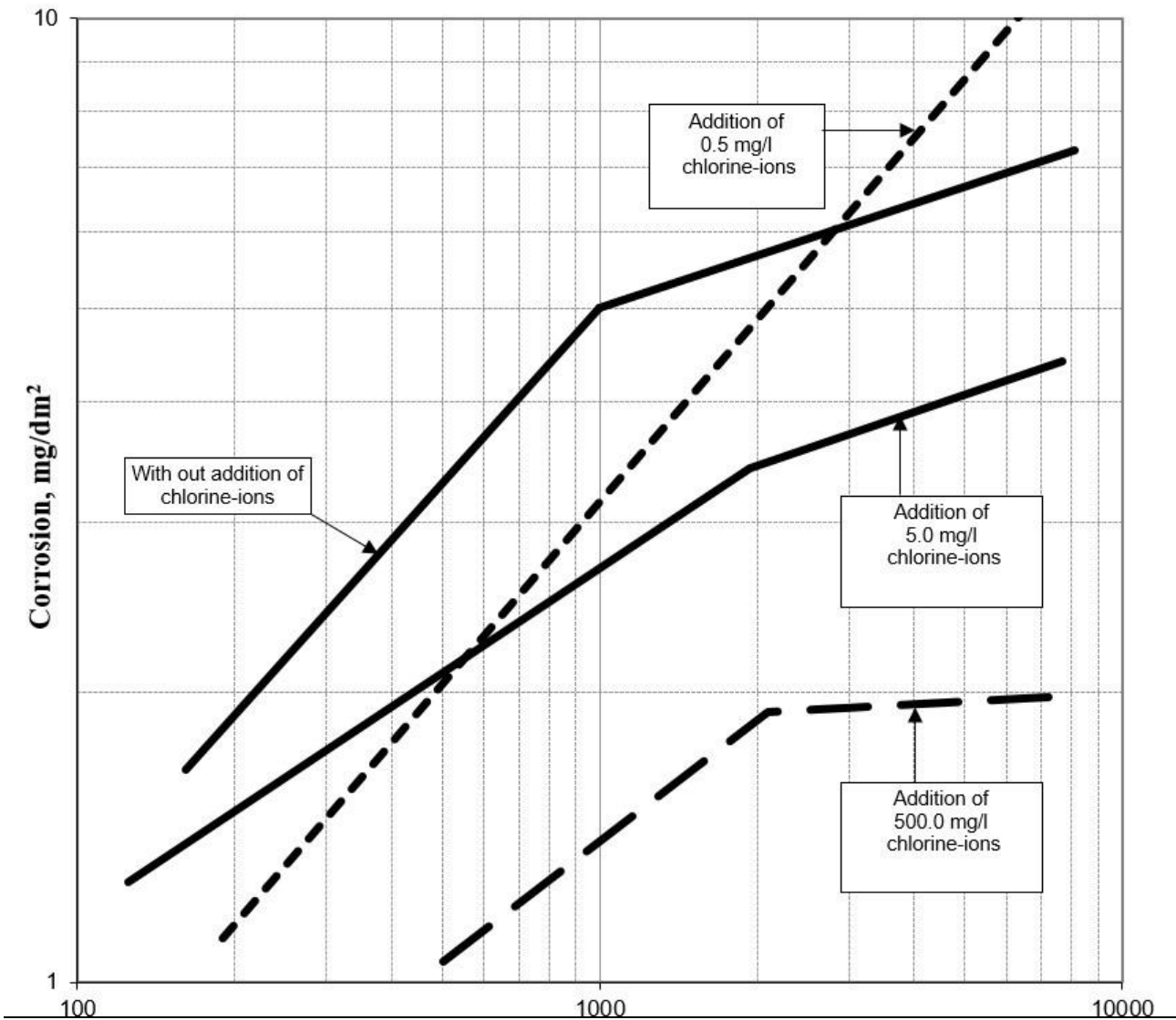


Fig. 1. Corrosion of alloy E-110 at 300 °C in water with different content of chlorides.

It is seen from Figure 1 that the alloy corrosion in distilled water takes place in two stages. At the first stage – the more considerable rise of oxide film takes place, at the second stage – this process is slowed down, that is, the film becomes more protective in nature. With addition to water of 0.5 mg/L of chlorine ions, the kinetics of alloy corrosion is changed: the second stage of the corrosion process does not occur. However, this does not influence the external appearance of specimens, which does not differ from the appearance of the specimens (black glossy surface) after the tests in water without addition of chlorine-ions [287].

Increase in concentration of chlorine-ions in water to 5-500 mg/L, according to the considered paper, leads to decrease in growth of mass of specimens in comparison with water without the addition of chlorides. This decrease in mass growth is expressed more evidently for the solution with higher chlorine-ions concentration.

With this, in both cases approximately after 2000 h for alloy E-110 the second stage of corrosion is started, which is characterized by slower growth in mass.

So, increase in concentration of chlorine-ions in water does not cause any negative effects but leads to decrease in corrosion rate of alloy E-110. Moreover, this decrease is not caused by dissolving the surface oxide film with the presence of chlorides, as the analysis of the solutions showed after corrosion tests.

On the basis of studies of electrochemical characteristics of corrosion of alloy E-110 at 300 °C in water with different content of chlorine-ions (0.5-500 mg/L) it was revealed that the cause of corrosion decrease with increase in concentration of chlorine-ions is their strong influence on the course of cathodic polarization curves, as seen from Figure 2, and the noticeable braking in discharging process of depolarizer ions.

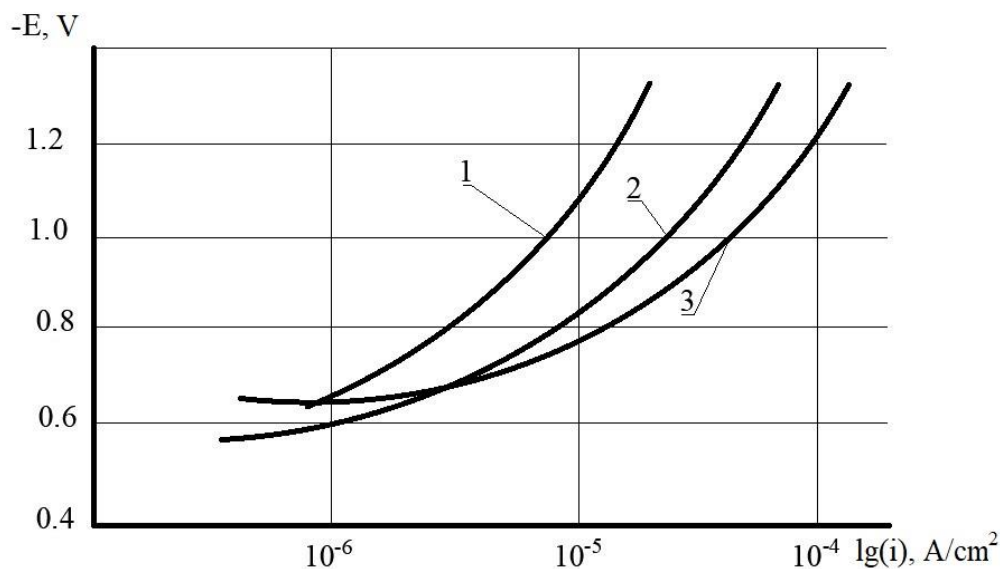


Fig. 2. Cathodic polarization curves of alloy Zr – 1% Nb at 300 °C in distilled water containing different amount of chlorine-ions: 1) – 500 mg/L Cl⁻ ; 2) – 5 mg/L Cl⁻ ; 3) – 0.5 mg/L Cl⁻.

The higher the braking of cathodic discharge process of depolarizer ions is, that is,

the higher the slope of a curve in Figure 2, the greater is the rate of corrosion decrease of zirconium alloy E-110 [287].

Summarizing the above-mentioned, on the basis of the paper of [285], a conclusion can be made that some increase in concentration of chlorine ions in high-temperature water (to 500 mg/L) does not cause increase in corrosion of alloy E-110 and is not hazardous.

Corrosion of alloy E-110 in high-temperature water with surface polluted with chlorine

For pollution of surface of alloy E-110 with chlorine they used its short-term anodic polarization in concentrated hydrochloric acid. Both autoclave tests were performed of such polluted specimens of zirconium alloy E-110 in non-deaerated water at 350 °C and pressure 17 MPa, and dynamic bench tests in standard coolant of reactors VVER-1000 at temperature 310 °C, pressure 12 MPa and flow velocity 5 m/s [287].

For the alloy with surface pollution after ~ 1500 h the rate of growth in mass of specimens begins to increase, and for non-polluted specimens – to decrease, that is, in the latter case the rise in protective properties of the film is observed. On the whole, with maximum achieved holding time of 3000 h the growth in mass of polluted specimens is approximately 1,5 time higher in comparison with the non-polluted.

So, in static tests, even with very severe conditions of alloy E-110 surface pollution with chloride-ions, the effect is not so strong. However under dynamic conditions of the tests it may increase abruptly.

The interesting feature is some loss in mass of specimens at some stages in the initial period of the tests. This is indicative of loss of protective properties of the film and transfer of the formed corrosion products into coolant.

In [287] it is indicated that in chloride media the pits may be formed on the surfaces of zirconium alloys, filled with black powder of metal zirconium and dark corrosion products. In particular, $ZrCl_2$ - of black colour.

With loss of passive film on zirconium, in metal scratching the edge of metal and pits being formed, the release of gas bubbles is observed. In paper of [287] this is explained by the following reaction:



Normal potential of this reaction is 0,5 V. It is noted that local corrosion centres are located most of all at the grain boundaries, and at crossings of grain boundaries, especially of three grains, as well as at the places of accumulation of some intermetallic compounds, by scratches and scribes. It should be noted that in all such sections there is a local metal deformation. By the data of [287] the normal potential of deformed sections may displace to negative side by – 0,11 V, and the value of normal potential of breakdown may be 0,39 V, that is, protective properties of the film are weakened considerably. The value of breakdown potential is practically similar in solutions of NaCl and KCl, but depends greatly on the metal surface condition.

Activation energy of reaction, that causes violation of passive state of zirconium alloys and formation of pits, is ~45 kJ/ mole [287]. Duration of period prior to formation of a pit is the lesser, the higher is the concentration of chloride-ions and temperature.

Corrosion of alloy E-110 at 350 °C in the presence of bromine or iodine

The available data show that addition of small amount of I₂ into non-deaerated water does not cause noticeable increase of general corrosion of zirconium alloy E-110 at 350 °C, in comparison with water without iodine addition (Figure 3). With this, the effect of iodine on corrosion depends on the condition of metal surface and is expressed more essentially for anodized alloy E-110. Surface of specimens after the mentioned tests is black and glossy, the same as after the tests in distilled water, that is, on the basis of the performed tests (1500 h) no sharp negative effect of small content of iodine on corrosion of alloy E-110 was revealed [287].

According to reference data of [288], the water solutions of iodine compounds (NaI, KI), even with their high concentration (10-60%), do not cause considerable corrosion of zirconium and its alloys at temperatures to 100-105 °C. Authors of paper

of [285] consider that ions of iodine and bromine (content of bromine in ocean water according to the data of [289] is approximately 1000 time higher in comparison with iodine) can cause local corrosion of zirconium alloys. Iodine, as well as bromine, forms oxy acids and the corresponding halogenide-ions when dissolving in water, for example:

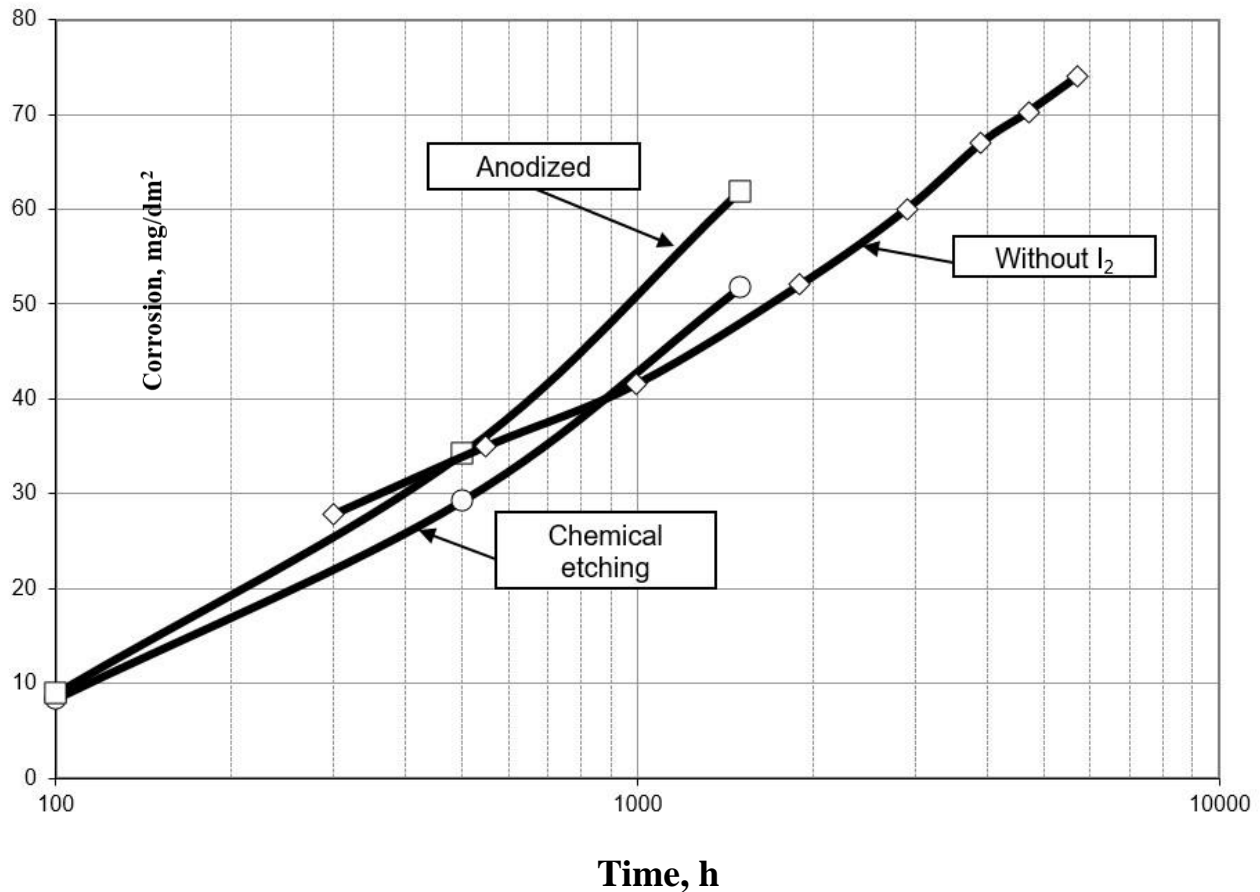
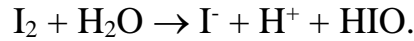


Fig. 3. Corrosion of alloy E-110 at 350 °C and 12 MPa in non-deaerated water with addition of 2.5 mg/kg I₂.

Oxy acids are strong oxidizers and displace the shift in the stationary potential to the region of positive potentials. The paper of [285, 287] describes the experiments when the specimens of zirconium alloys, loaded with bending or axial tension, were polarized with current of 1.6 mA/cm². After 30-50 min of tests the deep pits developed. When water solution contained 28 mg/L of iodine, the pits and cracks were formed on specimens of alloy Zr-1%Nb (E-110), being under axial stress of 280 MPa

[287]. The pits and cracks were filled with corrosion products of black colour. The authors of paper of [285, 287] consider that at potentials, being positive more than 0.6 V, zirconium dissolves in active state. In their opinion, the following reaction on the zirconium surface is the cause of violation of the passive state:



According to the whole set of the above-mentioned data, under definite conditions (tensile stresses, etc.) the pollution of zirconium components of fresh FAs with halogenide-ions (Cl^{-} , Br^{-} or I^{-}) could lead to increase of general corrosion of zirconium alloy E-110 and development of local types of corrosion on its (pittings, corrosion cracks). This needs the special precautionary measures to be taken during storage of fresh fuel at nuclear power plant (NPP) located in the coastal ocean region to minimize both the amount, and the possibility of getting the sea salts on fuel surface [287-290].

Recommendations on the conditions of fresh fuel storage

1. Fresh fuel shall be stored, if possible, with presence of silica gel in the sealed containers preventing or making difficult the FAs contact with atmospheric air.
2. In case of loss of integrity of packing and possible pollution of assembly components with corrosive elements of sea atmosphere the FAs shall be stored further in water till their placing into the reactor.
3. Fuel handling procedures shall not be used, unless there is an urgent need, to reduce a possibility of loss of the packing integrity.
4. When loading the fresh FAs into the reactor core, the daily monitoring of content of chlorine-ion in the coolant shall be performed.
5. Bringing the reactor to nominal power shall be performed only at reaching the standard indices of water chemistry as to chlorides.

Conclusion

Design method of fresh fuel storage at NPP in the coastal ocean region in the south shall provide for its further reliable operation.

Fresh fuel shall be stored, if possible, with presence of silica gel in the sealed containers preventing or making difficult the FAs contact with atmospheric air.

In case of loss of integrity of packing and possible pollution of assembly components with corrosive elements of sea atmosphere, the FAs shall be stored further in water till their placing into the reactor.

Fuel handling procedures shall not be used, unless there is an urgent need, to reduce a possibility of loss of the packing integrity.

When loading the fresh FAs into the reactor core, the daily monitoring of content of chlorine-ion in the coolant shall be performed. Bringing the reactor to nominal power shall be performed only at reaching the standard indices of water chemistry as to chlorides.

6.2 Surface modification of functional iron oxide pigment particles with anion active substance for improved dispersion stability and processing textile materials

Нині інтенсивно вивчаються унікальні фізичні властивості наночастинок. Особливе місце серед них займають електропровідні і магнітні властивості, в яких найвиразніше проявляються відмінності між масивним (об'ємним) матеріалом і наноматеріалом.

Наносистемам з магнітними частинками приділяється велика увага, але процесам отримання магнітних текстильних матеріалів (ТМ) на основі синтетичних волокон з використанням нанотехнологій присвячені одиничні роботи на рівні патентів, існують матеріали рекламного характеру, в яких описуються позитивні результати при використанні магнітних волокон, наприклад, в одязі. У європейських країнах робиться акцент на розвиток наукомістких, обмежених за обсягами випуску продукції, текстильних виробництв, для яких вартість наукових розробок становить істотну частину у собівартості. Зокрема, подібною продукцією є медичні ТМ, текстильні матеріали з особливими фізичними властивостями, наприклад, з електропровідністю або (і) магнітними властивостями. За останні роки в області розробки магнітних наноматеріалів відбулися зміни, які пов'язані з розробкою ефективних методів отримання і стабілізації магнітних частинок нанорозмірів, так і з розвитком фізичних методів дослідження таких частинок [291–293].

Перспективним напрямком в області досліджень наночастинок магнетиту є створення магнітних матеріалів шляхом нанесення магнітних покриттів на поверхні твердих (волокнистих) немагнітних тіл, включаючи натуральні волокна і тканини. Нанесення магнітних шарів на натуральні немагнітні матеріали без руйнування їх структури можливо здійснити методом гетерокоагуляції [294, 295], тому що решта методів включають операцію введення магнітних частинок на стадії формування волокна. Використання натуральних волокон складає незначний об'єм виробництва текстильних матеріалів, переважно основна частка

виробництва текстильних матеріалів припадає на виробництво хімічних волокон, зокрема синтетичних волокнистих матеріалів. Тому виникає необхідність у створенні текстильних матеріалів з магнітними властивостями на основі синтетичних волокон.

Процес гетерокоагуляції наночастинок з розмірами менше 100 нм дозволяє наносити на поверхню волокна компоненти, які надають текстильним матеріалам важливі для технічних областей застосування властивості. Такий процес включає декілька стадій, основними з яких є стадія отримання нанодисперсії необхідного компонента з достатньою агрегативною стійкістю і стадія сорбції наночастинок на поверхні текстильного матеріалу за механізмом гетерокоагуляції. Ці дві стадії самі по собі являються актуальними для розвитку нанотехнологій з позицій фундаментальної науки. В роботі передбачається використання цих двох стадій для створення текстильних матеріалів з магнітними властивостями. З позицій прикладної науки проблема створення магнітних текстильних матеріалів з використанням методів нанотехнології являється актуальною, зважаючи на ряд унікальних властивостей, що набуваються текстильним матеріалом у процесі нанообробки.

Представляє інтерес розробка нанотехнології створення синтетичних текстильних матеріалів з магнітними властивостями, у рамках нанотехнологій, а саме встановлення впливу технологічних параметрів процесу синтезу на утворення наночастинок магнетиту в присутності поверхнево-активних речовин (ПАР) і поліамідного текстильного матеріалу за механізмом гетерокоагуляції.

6.2.1.1 Теоретичне обґрунтування застосування поверхнево-активних речовин при синтезі магнетиту у присутності текстильного матеріалу

По суті синтез магнетиту в присутності ПАР являє собою магнітну рідину, властивості якої визначаються сукупністю характеристик компонентів, які входять у її склад (твердої фази, рідини-носія і стабілізатора), варіюючи якими можна у досить широких межах змінювати фізико-хімічні параметри МР в залежності від конкретних умов їх застосування. Процес синтезу МР включає в

себе основні стадії: отримання високодисперсних частинок магнетиту і їх стабілізацію у водному розчині ПАР. Стійкість колоїдних систем – це ключове завдання колоїдної хімії, і її вирішення має велике практичне значення, для, наприклад, отримання магнітних колоїдних систем стабільних у часі зі збереженням магнітних властивостей. У даному випадку, агрегативна стійкість колоїдних систем визначається балансом сил відштовхування і притягання між частинками, серед яких є сили електростатичної взаємодії [294–296].

Внаслідок малих розмірів частинки колоїду є однодоменними і мають власний магнітний момент. Взаємодія між магнітними частинками призводить до їх злипання в агрегати, що призводить до седиментації магнітних частинок і їх злипання. Для запобігання коагуляції частинок їх поверхня покривається шаром з молекул ПАР. Оболонка з молекул ПАР запобігає зближенню частинок, тому що при її стисканні виникають сили відштовхування. І, нарешті, між частинками виникають електростатичні сили, завдяки взаємодії подвійних електричних шарів, що оточують магнітні частинки. Протидія агрегації і коагуляції частинок визначає агрегативну стійкість колоїдних систем і залежить від балансу сил, що діють між феромагнітними частинками (сили Ван-дер-Ваальса, диполь-дипольної та електростатичної взаємодії) [297–299]. Так як розглянуті нами рідини є колоїдними системами, то для них будуть справедливі закони колоїдної хімії. Важливою особливістю і основною відмінністю магнітних рідин від звичайних колоїдних систем є наявність у них магнітних властивостей. Стійкість є однією з найважливіших характеристик магнітних рідин що у великій мірі визначає можливість їх успішного застосування. Причому тривалість агрегативної стійкості, як і для будь-якої колоїдної системи, буде залежати від розмірів частинок дисперсної фази, хімічного складу і фізичних характеристик колоїду, зовнішніх умов (наприклад, температури, величини магнітного поля) і може тривати від декількох секунд до декількох років.

Між частинками, покритими адсорбованими молекулами ПАР, при їх зіткненні виникає сила відштовхування [297], що попереджає злипання

(агрегацію) частинок між собою. Проте достатня міцність адсорбційного шару не означає відсутності коагуляції взагалі, так як дві частинки, розділені адсорбційним шаром 2δ , де δ – товщина шару молекул ПАР (рис. 1), можуть утримуватися разом силами магнітного тяжіння. Такий агломерат може бути зруйнований тепловим рухом частинок. Оскільки з ростом товщини адсорбційного шару відстань між частинками зростає, то енергія диполь-дипольної взаємодії зменшується і, як наслідок, збільшується вплив теплового руху частинок на їх агрегацію.

Товщина оболонки, що перешкоджає агрегації частинок з урахуванням їх теплової енергії і диполь-дипольної взаємодії, залежить від температури, розмірів частинок, їх магнітних характеристик. Зокрема [300, 301], для магнітних частинок магнетиту при кімнатній температурі:

$$\delta \gg 3,2 \cdot 10^7 d^2 - 0,5d = \delta_{кр}$$

δ – довжина молекул ПАР.

Якщо в якості ПАР для магнітних частинок використовується олеїнова кислота ($\delta = 20\text{Å}$), то умова $\delta_{кр} \ll \delta$ говорить про те, що в цьому випадку від коагуляції будуть захищені частинки, діаметр яких істотно менше 190Å . З іншого боку, дуже малі частинки ($1 \div 2$ нм) втрачають свої магнітні властивості внаслідок малості енергії обмінної взаємодії у порівнянні з тепловою енергією. Тому найбільш прийнятним, з точки зору агрегативної стійкості, є розмір частинок магнетиту $4 \div 16$ нм, а застосування ПАР з більшою, ніж у олеїнової кислоти, довжиною молекул, забезпечить стабілізацію більших частинок магнетиту.

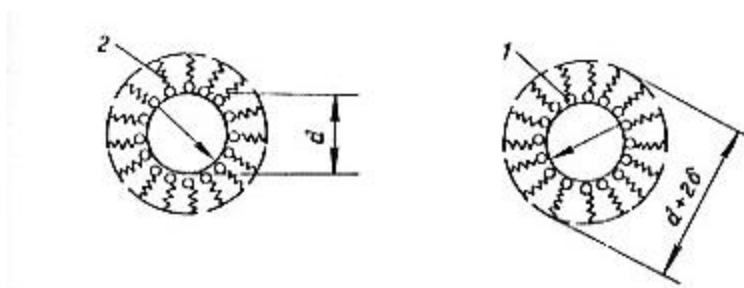


Рис. 1. Товщина адсорбованих шарів ПАР на двох магнітних наночастинках [296, 300, 301]

Отже, стійкість магнітної рідини (МР) визначається рівновагою усіх можливих факторів взаємодії (міжмолекулярної, магнітної, електростатичної) між частинками дисперсної фази. Якщо над силами тяжіння переважають сили відштовхування, система знаходиться у стійкому агрегативному стані. У протилежному випадку – система прагне до руйнування колоїдної структури. На підставі викладеного вище можна зробити висновок, що найоптимальнішим варіантом колоїдного розчину МР є наносистема магнітних частинок розміром $5 \div 20$ нм з адсорбованими на їх поверхні молекулами ПАР, що присутні у водному середовищі оброблювальної ванни. Таким чином, ПАР, по-перше, стабілізує систему найефективнішим чином, і МР в цілому являє собою найбільш стабільну в часі та просторі колоїдну систему із нанорозмірами, а, по-друге, сприяє протіканню коагуляції частинок магнетиту на поверхню текстильних матеріалів за механізмом гетерокоагуляції.

6.2.1.2 Встановлення можливості створення текстильних матеріалів з магнітними властивостями за механізмом гетерокоагуляції

У якості текстильного матеріалу використовувалося трикотаже поліамідне полотно і комплексна поліамідна нитка. Дисперсію магнетиту отримували співосадженням солей заліза (Fe(II) і Fe(III)) розчином водного аміаку [296, 302-304] при pH=10 у присутності поліамідного текстильного матеріалу і поверхнево-активної речовини в фарбувальній ванні з використанням гетерокоагуляційного механізму з метою отримання магнітних текстильних матеріалів.

Методи отримання наносистем осадженням частинок дисперсної фази шляхом синтезу нерозчинної сполуки у водному середовищі описані в [305, 306], за умови припинення процесу утворення дисперсної фази на стадії нанорозмірів частинок. Загальним прийомом є використання ПАР, які з одного боку за рахунок адсорбції на поверхні нової фази, яка утворюється, перешкоджають збільшенню її розмірів через зростання частинки, а з іншого – перешкоджають агрегації частинок дисперсії і збільшують агрегативну стійкість колоїду. Тому введення ПАР при синтезі магнетиту в присутності ТМ не тільки впливатиме на

дисперсну структуру магнетиту, який утворюється у процесі синтезу, а й при адсорбції на поверхні ТМ впливатиме на можливість здійснення процесу гетерокоагуляції і міцність взаємодії наночастинок магнетиту з поверхнею ТМ. У зв'язку з цим досліджувався вплив як концентрацій солей заліза, так і вплив концентрацій ПАР різної природи на сорбцію магнетиту за механізмом гетерокоагуляції на поверхню текстильного матеріалу.

У роботі проводився синтез магнетиту при стабілізації частинок ПАР, що передбачало синтез наночастинок магнетиту нанорозмірів. У роботі досліджено вплив концентрацій сірчаноокислого та хлорного заліза (від 5 до 60 г/л) в присутності ПАР різної природи з концентраціями до і після ККМ на процес синтезу наночастинок магнетиту і формування шару наночастинок шляхом гетерокоагуляції на поверхні текстильного матеріалу.

Оскільки процес синтезу магнетиту «на холоді» у присутності поліамідного текстильного матеріалу при відсутності ПАР не забезпечував фарбування текстильного матеріалу і зразки в присутності різних типів ПАР з концентрацією вище ККМ, що дорівнює 2 г/л, відрізнялися нерівномірним забарвленням з незначною кількістю магнетиту на поверхні ТМ, то було доцільним проводити подальші дослідження, використовуючи ПАР з концентрацією рівній ККМ. Необхідно зазначити, що після промивання забарвлених текстильних матеріалів, магнетит частково змивався, тому нами було передбачене промивання зразків, забарвлених магнетитом, 10%-вим розчином хлористого натрію (NaCl) для мінімізації пептизації (десорбції) магнетиту нанорозмірів з текстильного матеріалу.

Для класичної гетерокоагуляції характерним є осадження різнойменно заряджених частинок за рахунок нейтралізації їх зарядів при взаємодії частинок. В лужному середовищі ($\text{pH} > 5$) поліамідний ТМ має від'ємний ξ - потенціал, а частинки диспергованого магнетиту, при стабілізації дисперсії катіоноактивною ПАР (алкамон ОС-2), – позитивний ξ - потенціал. Тому при синтезі магнетиту при рН фарбувальної ванни біля 10 – 11 в присутності алкамону ОС-2 позитивно заряджені частинки магнетиту осідали на негативно зарядженій поверхні ТМ за

рахунок електростатичної взаємодії наночастинок магнетиту з поверхнею поліамідного текстильного матеріалу за механізмом гетерокоагуляції, що підтвердило наше припущення в конкретному експерименті (рис. 2). Необхідно зазначити, що синтез магнетиту в присутності аніонактивної ПАР призводить до осадження гідроксиду та окислів заліза іржавого кольору і текстильний матеріал в даному випадку не взаємодіє з постійним магнітом. При синтезі магнетиту в присутності катіонактивної ПАР з концентрацією, що дорівнює ККМ, спостерігався більш рівномірний розподіл наночастинок магнетиту на поверхні ТМ, досягнутий за рахунок здійснення процесу за механізмом гетерокоагуляції. Оскільки максимальна кількість магнетиту на ТМ відповідає величині оптичної густини (D) розчину ТМ, забарвленого магнетитом, і дорівнює 0,1, що становить 8,6 % від ваги поліамідного ТМ, то наступним етапом роботи стало з'ясування умов, які сприяли б збільшенню кількості магнетиту на поліамідному ТМ, а саме дослідження впливу попереднього оброблення поліамідного ТМ розчинами електролітів, дослідження впливу типу ПАР і температури синтезу на утворення наночастинок магнетиту на поверхні ТМ.

6.2.1.3 Дослідження впливу типу електроліту на ефективність попереднього оброблення розчином електроліту

У роботі вивчено вплив типу і концентрації солей електролітів на ефективність попереднього оброблення розчинами електролітів ТМ перед проведенням процесів синтезу магнетиту і його гетерокоагуляції на ТМ (рис. 2, рис. 3). У якості розчинів електролітів використано: водні розчини хлористого натрію, хлористого кальцію і хлористого алюмінію.

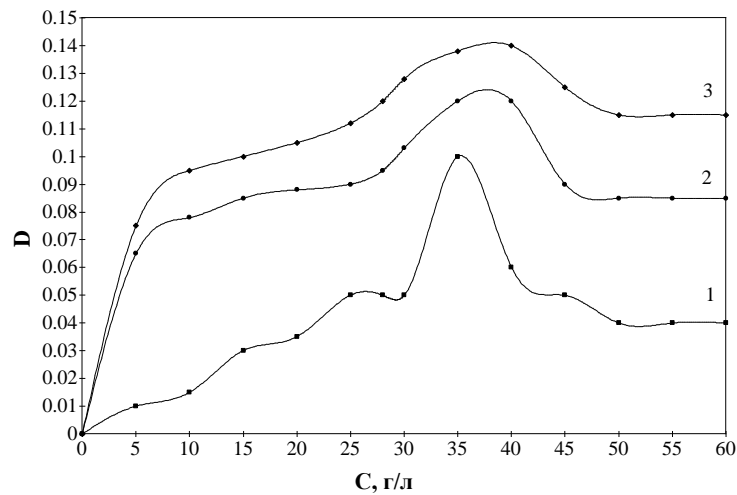


Рис. 2. Залежність оптичної густини (D) розчинів ПА ТМ, забарвлених магнетитом в присутності КПАР, від концентрації солі заліза (C, г/л: 1) без попереднього оброблення, синтез магнетиту «на холод»; 2) без попереднього оброблення, синтез магнетиту на «кипу»; 3) з обробленням, синтез магнетиту на «кипу»

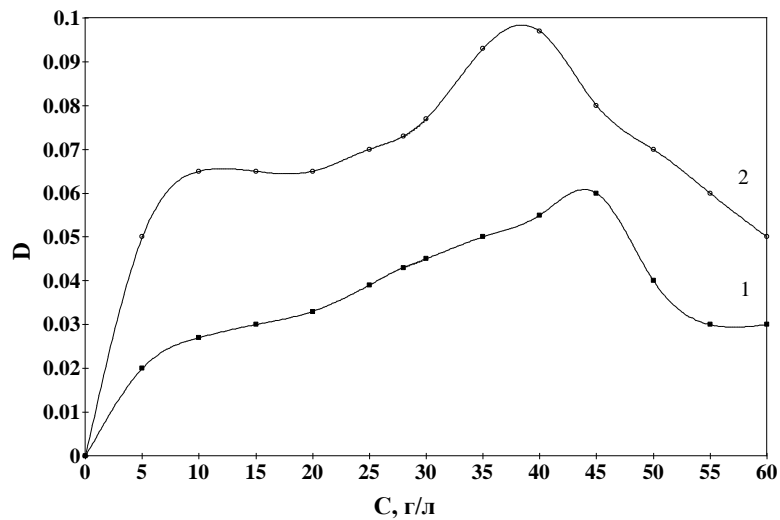


Рис. 3. Залежність оптичної густини (D) розчинів ТМ, оброблених магнетитом в присутності АПАР, від концентрації солі заліза (C, г/л) в ванні: 1) без попереднього оброблення, синтез магнетиту «на холод»; 2) з обробленням, синтез магнетиту на «кипу»

Співставлення експериментальних даних (рис. 2, рис. 3) показує, що найбільш ефективно синтез магнетиту відбувався на попередньо обробленому

поліамідному ТМ розчином електроліту – хлористого натрію (використовувався 10%-вий розчин NaCl)) при введенні катіонактивної ПАР – алкамону ОС-2 з концентрацією, що дорівнює ККМ (ККМ= 1 г/л) і солі заліза (II) з концентрацією, що дорівнює 40 г/л на «кіпу» ($t = 95 \div 98$ °C) з промиванням забарвленого поліамідного ТМ 10%-вим розчином NaCl.

Використання катіонактивної ПАР сприяло осадженню більшої кількості магнетиту на ТМ і відповідно більшій величині оптичної густини ($D = 0,14$), що складає 12,1 % від ваги забарвленого поліамідного ТМ магнетитом нанорозмірів. У той час як при застосуванні аніонактивної ПАР оптична густина розчинів волокнистих матеріалів, забарвлених магнетитом, при синтезі магнетиту в аналогічних умовах дорівнює $D \approx 0,1$. Експериментальні дані, представлені на рис. 2, в основному, описуються поліномом четвертого ступеню (4th Degree Polynomial Fit) і рівнянням з коефіцієнтом кореляції 0,998, отриманими з використанням програми CurveExpert 1.3: $D = a + bC + cC^2 + dC^3 \dots$, де D – оптична густина; C – концентрація сірчаноокислого заліза (г/л) в ванні; $a = 0,001$ $b = 0,018$ $c = -0,001$, $d = 4,028e-005$, $e = -4,1115e-007$. Експериментальні дані, представлені на рис. 3, в основному, описуються зворотною квадратичною функцією (Reciprocal Quadratic) і рівнянням з коефіцієнтом кореляції 0,995, отриманими з використанням програми CurveExpert 1.3: $D = 1/(a + bC + cC^2)$, де $a = -256,652$, $b = 9,785$, $c = -0,083$.

Найбільш ефективно синтез магнетиту здійснювався в присутності катіонактивної ПАР – алкамону ОС-2 при попередньому обробленні поліамідного ТМ розчином NaCl з концентрацією $40 \div 50$ г/л, величина оптичної густини розчинів забарвленого поліамідного ТМ, що відповідає даній концентрації NaCl, дорівнює $D = 0,14$ (рис. 4). Для синтезу магнетиту в присутності АПАР і поліамідного текстильного матеріалу концентрація NaCl для попереднього оброблення співпадає і дорівнює $40 \div 50$ г/л, але величина оптичної густини розчинів обробленого поліамідного ТМ, що відповідає концентрації NaCl, дещо нижча і дорівнює $D = 0,092$. Експериментальні дані, представлені на рис. 4 описуються функцією Exponential Association і рівнянням з коефіцієнтом

кореляції 0,997, отриманими з використанням програми CurveExpert 1.3: $D=a(1-\exp(-bC))$, де D – оптична густина; C – концентрація сірчаноокислого заліза (г/л) в ванні; $a = 0,138$, $b = 0,102$.

На рис. 5 представлені залежності оптичної густини (D) розчинів поліамідних ТМ, оброблених магнетитом, синтезованого в присутності: 1) КПАР – алкамону ОС-2 і 2) АПАР – сульфонолу від концентрації хлористого кальцію (CaCl_2) (C , г/л) (рис. 5 (а)) і хлористого алюмінію (AlCl_3) (C , г/л) (рис. 5 (б)) у ванні для попереднього оброблення.

У порівнянні з попереднім обробленням розчинами хлористого кальцію і хлористого алюмінію найбільш ефективно синтез магнетиту здійснювався в присутності катіоноактивної ПАР – алкамону ОС-2 і поліамідного ТМ, за умови попереднього оброблення поліамідного ТМ розчином CaCl_2 з концентрацією 4÷5 г/л. Величина оптичної густини розчинів оброблених поліамідних ТМ при цьому становить $D = 0,095 \div 0,01$. Спільним є те, що криві на рис. 5 описуються раціональною функцією (Rational Function $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2$, $R = 0,997$), отриманою з використанням програми CurveExpert 1.3.

Отримані експериментальні дані (рис. 4, 5) свідчать про різний вплив солей електролітів, що застосовувалися для попереднього оброблення, на кількість магнетиту, синтезованого в присутності ПАР і поліамідного ТМ, що може бути пов'язано з:

1) десорбція солі з волокна в об'єм може викликати зниження агрегативної стійкості частинок з коагуляцією в об'ємі дисперсії, що утворені більш великі частинки магнетиту повинні недостатньо міцно утримуватися на поверхні ТМ і видаляються при промиванні, що повинно працювати при великих концентраціях електроліту. Однак, при зростанні концентрації для трьох використаних нами електролітів (рис. 4, рис. 5) відсутнє зменшення кількості магнетиту на текстильному матеріалі (включаючи операцію промивання). У відповідності з правилом Шульце–Гарді коагуляційна здатність електроліту істотно залежить від заряду іонів. Однак, у нашому випадку найбільша кількість магнетиту осідає на ТМ в присутності хлористого натрію, що також дозволяє

припускати, що зменшення агрегативної стійкості в об'ємі дисперсії магнетиту з ростом концентрації електроліту у даному випадку не грає ролі;

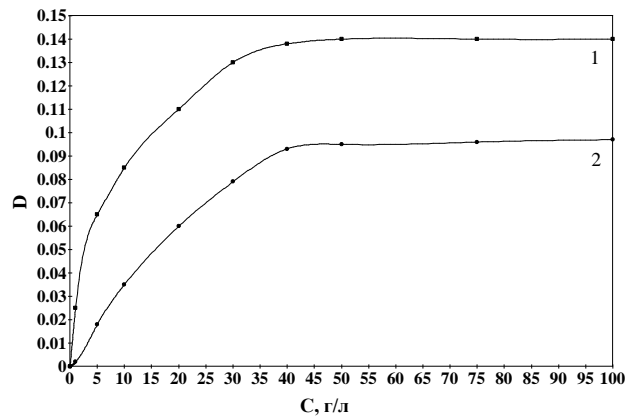


Рис. 4. Залежність оптичної густини (D) розчинів ПА ТМ, оброблених магнетитом, синтезованого з: 1) КПАР; 2) АПАР від концентрації хлористого натрію (С, г/л) при попередньому обробленні

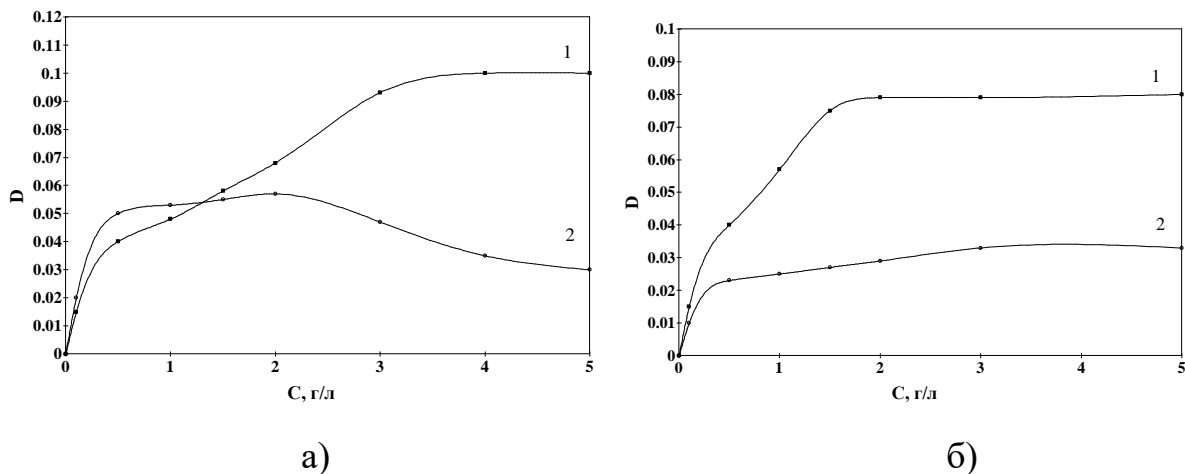


Рис. 5. Залежність оптичної густини (D) розчинів ПА ТМ, оброблених магнетитом, синтезованого в присутності: 1) КПАР; 2) АПАР від концентрації хлористого кальцію (CaCl_2) (а) та хлористого алюмінію (AlCl_3) (б) (С, г/л) у ванні для попереднього оброблення

2) зниження заряду, але це при різнойменних зарядах може зменшувати коагуляцію на поверхні ТМ, а при однойменних – прискорювати коагуляцію магнетиту за рахунок зменшення електростатичного заряду поверхні текстильного матеріалу;

3) можливе перезарядження поверхні частинок магнетиту за рахунок адсорбції позитивних іонів тривалентного алюмінію на негативно зарядженій поверхні поліамідного текстильного матеріалу.

Однозначно встановлено, що вплив електроліту при гетерокоагуляції частинок магнетиту з поверхнею поліамідного ТМ не збігається з правилом Шульце–Гарді і носить протилежний характер.

Ефективність впливу попереднього оброблення NaCl на кількість магнетиту на поверхні поліамідного ТМ з використанням механізму гетерокоагуляції можна пояснити наступним. Чим вище валентність електроліту, тим більше він буде знижувати ξ - потенціал, тому згідно класичної гетерокоагуляції при різнойменних зарядах колоїдних частинок магнетиту і поверхні ПА ТМ, на якій відбувається гетерокоагуляція, зниження заряду ξ - потенціалу попередньо обробленого AlCl₃ ТМ буде приводити до зменшення кількості сорбованого магнетиту на ПА ТМ за механізмом гетерокоагуляції у порівнянні з електролітом NaCl.

Таким чином, для попереднього оброблення поліамідного ТМ перед синтезом магнетиту доцільно використовувати водний розчин електроліту NaCl з концентрацією 40÷50 г/л при синтезі магнетиту на «кіпу» у присутності КПАР – алкамону ОС-2 з концентрацією, що дорівнює ККМ (ККМ = 1 г/л). Концентрація сірчаноокислого заліза залишається постійною.

У роботі визначено технологічні параметри процесу попереднього оброблення, що сприяють досягненню максимальної кількості наночастинок магнетиту, осаджених на поліамідному текстильному матеріалі (таблиця 1).

У роботі визначено умови синтезу наночастинок магнетиту в присутності КПАР і поліамідного ТМ, попередньо обробленого NaCl.

Отримана крива потенціометричного титрування розчину солей заліза розчином гідроксиду натрію (рис. 6).

Умови оброблення ПА текстильного матеріалу

Попереднє оброблення поліамідного ТМ:	
Концентрація NaCl, г/л	40÷50
Тривалість попереднього оброблення (τ), хв	30÷40
Температура попереднього оброблення (t), °C	95÷98
Модуль ванни	1:30

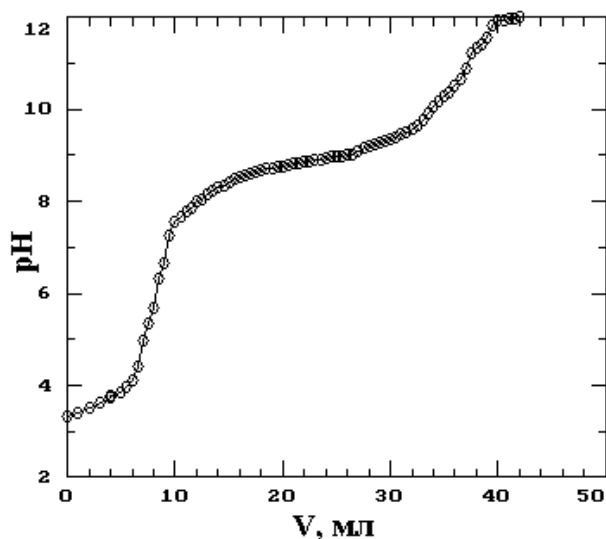


Рис. 6. Крива потенціометричного титрування розчину солі заліза розчином гідроксиду натрію

Ступінчасте плато на кривій титрування відповідає процесу зникнення суміші солей двовалентного і тривалентного заліза у розчині і переходу їх до погано розчинних у воді сполук – $\text{FeCl}(\text{OH})_2$, $\text{FeCl}_2(\text{OH})$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeCl}(\text{OH})$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ і магнетиту. Крива потенціометричного титрування показує, що процес взаємодії солей заліза з розчином гідроксиду амонію з утворенням магнетиту, зрештою, завершується в області рН 11÷12.

Досліджено залежність оптичної густини розчинів ПА ТМ, оброблених магнетитом, від тривалості синтезу магнетиту. Синтез магнетиту проводився протягом 10 годин на «кипу», потім до завершення першої доби синтезу

оброблювальний розчин з ТМ при кімнатній температурі залишався на 5 діб для досягнення рівноваги хімічної реакції утворення магнетиту в системі МР – білковий ТМ згідно даних [294]. Зміна типу функціональної залежності кількості магнетиту від тривалості синтезу можна розглядати як свідчення протікання різних за механізмом процесів у досліджуваному часовому інтервалі: 1) рівновага хімічної реакції утворення магнетиту в системі МР – поліамідний ТМ настає лише на 5 добу; 2) здійснення повноти протікання гетерокоагуляції наночастинок у результаті втрати дисперсією магнетиту сорбційної стійкості. Тому синтез магнетиту доцільно проводити у присутності КПАР і ПА текстильного матеріалу протягом 2÷3 годин на «кипу», тому що насичення відбувається на першому «добовому» етапі процесу синтезу магнетиту (таблиця 2).

Таблиця 2

Умови створення текстильних матеріалів з магнітними властивостями

Концентрація $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, г/л	40–60
Концентрація катіонактивної ПАР, г/л	1
Тривалість синтезу магнетиту (τ), хв.	180÷360
Температура ($t, ^\circ\text{C}$)	95÷98
Модуль ванни	1:30
pH середовища	10÷11

6.2.1.4 Рентгено-фазовий аналіз текстильних матеріалів, що містять частинки магнетиту

Методом РФА досліджено зразок магнетиту, синтезованого за відсутності ТМ за аналогічною технологією. Дифрактограми записані в цифровому вигляді в файл у форматі 2θ (град) – I (інтенсивність, с^{-1}) і зображені на рис. 7. Деталі проведення розрахунків і параметри рентгенооптичної схеми наведені в [307]. Фазовий склад і віднесення дифракційних піків наведені в таблиці 2, згідно якої зразок представлений магнетитом. Проте міжплоскісні відстані в зразку близькі для маггеміту. Разом з тим на дифрактограмі досліджених зразків відсутні піки в

області кутів 10–35 град, які зазвичай спостерігаються для фази маггеміту. Дифракційні піки вказують на те, що в результаті синтезу отримали наночастинки магнетиту. Відносний розмір синтезованих наночастинок розраховано за допомогою формули Дебая-Шеррера і становить $12\text{nm} \pm 0,1\text{ nm}$

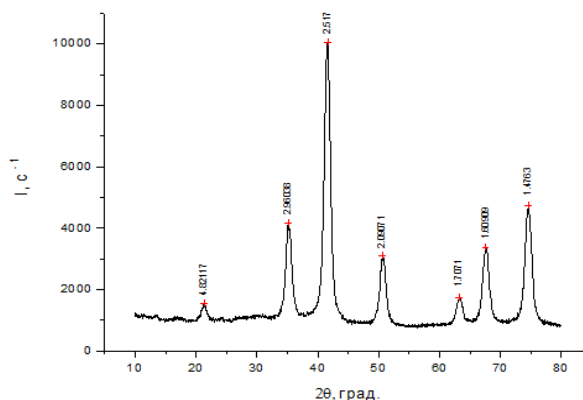


Рис. 7. Дифрактограма зразка магнетиту з КПАР

Отже, розроблено метод одержання текстильних матеріалів з магнітними властивостями на основі синтетичних волокон з використанням гетерокоагуляційного механізму обробки магнетитом колоїдного ступеню дисперсності (нанорозмірів) (таблиця 3) [307].

Таблиця 2

Фазовий склад і віднесення дифракційних піків

Вид зразка	№ піку	2θ , град.	D_{hkl} , Å	Fe_3O_4 JCPDS #19-29
Зразок магнетиту, синтезованого з КПАР	1	21,4	4,82117	*
	2	35,2	2,96038	*
	3	41,65	2,51784	*
	4	50,7	2,09071	*
	5	63,25	1,7071	*
	6	67,6	1,60909	*
	7	74,65	1,4763	*

Таким чином, експериментально встановлена можливість створення текстильних матеріалів з магнітними властивостями на основі синтетичних волокон шляхом синтезу магнетиту в оброблювальній ванні і осадження

частинок колоїдного ступеню дисперсності на поверхню поліамідних ТМ з використанням механізму гетерокоагуляції.

Теоретично обґрунтовано введення ПАР при синтезі наномагнетиту у присутності текстильного матеріалу; експериментально показана необхідність оброблення текстильного матеріалу розчином електроліту перед проведенням процесів синтезу магнетиту і його гетерокоагуляції на текстильний матеріал. Досліджено вплив типу електроліту на ефективність попереднього оброблення розчином електроліту; розроблено метод отримання текстильних матеріалів з магнітними властивостями шляхом обробки з наносистем, що включає паралельний синтез нанодисперсій магнетиту в присутності ПАР та поліамідного текстильного матеріалу і гетерокоагуляції наночастинок на поверхні синтетичних текстильних матеріалів; визначено технологічні параметри отримання текстильних матеріалів з магнітними властивостями на основі синтетичних волокон, які забезпечують максимальну кількість нанодисперсного магнетиту, осадженого на текстильному матеріалі.

6.2.2.1 Дослідження магнітних характеристик синтетичного магнетиту

Розроблений матеріал має ряд спеціальних властивостей, пов'язаних з технологічністю і функціональним призначенням, наприклад, з виготовленням бар'єрної одягу для захисту людини від електромагнітних полів, отриманням ТМ медичного призначення, що, безсумнівно, підкреслює актуальність застосування створених магнітних ТМ. Однак, не досліджено питання визначення магнітних характеристик для композиції наномагнетит-текстильний матеріал.

Для дослідження використано зразок поліамідного ТМ, на поверхні якого було осаджено наночастинки синтетичного магнетиту за механізмом гетерокоагуляції із застосуванням нанотехнологій. Також визначено магнітні характеристики порошку наномагнетиту, синтезованого без ТМ за тією ж самою технологією.

Дослідження магнітних характеристик зразків виконані за допомогою магнітометра з датчиками Хола, який призначений для вимірювання параметрів петлі гістерезису порошкових матеріалів. Вимірювання параметрів кривих

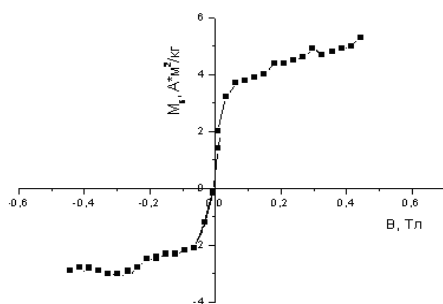
намагнічення та петель гістерезису відбуваються у розімкненому магнітному ланцюгу. Зразок, що досліджують, у формі циліндра вводять у міжполюсний простір електромагніту. У безпосередній близькості від зразка розташована диференційна пара перетворювачів Хола, магнітні вісі яких зорієнтовані паралельно вектору зовнішнього магнітного поля електромагніту. При такій орієнтації вимірювальних перетворювачів, вони не реагують на зовнішнє поле, а виникнення вимірювального сигналу пов'язано лише з нормальною до зовнішнього поля компонентою поля розсіювання зразка, яка прямо пропорційна величині його магнітного моменту. Вимірювання величини зовнішнього поля відбувається за допомогою окремого перетворювача Хола. Сигнали перетворювачів поля зразка та зовнішнього магнітного поля подаються на входи масштабуючих підсилювачів, які передають інформацію до АЦП та ПК. При цьому, оскільки перетворювачі Хола є значочутливими вимірювачами величини поля, схема забезпечує реєстрацію залежності величини магнітного моменту зразка від зовнішнього магнітного поля у всіх чотирьох квадрантах петлі гістерезису.

Для визначення абсолютної величини магнітного моменту (намагніченості), які досліджуються, виконують калібрування за еталонним зразком з відомою намагніченістю насичення, за умови, що його форма (розміри та маса) дорівнюють розмірам зразка, що досліджується. Зазвичай, як еталонний зразок використовують чистий металічний нікель, намагніченість насичення якого визначена з високою точністю ($54,4 \cdot A \cdot m^2/kg$ при кімнатній температурі).

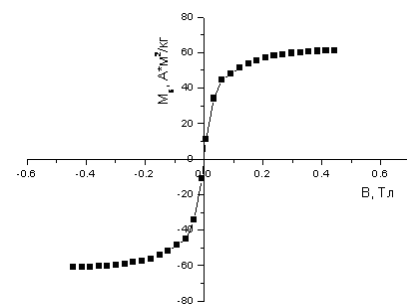
Таким чином, необхідним було розробити метод вимірювання магнітних характеристик магнітного ТМ, визначити величини намагніченості насичення та вмісту наночастинок магнетиту у текстильному матеріалі.

Виготовлення зразків ТМ з наночастинками магнетиту, які придатні для вимірів магнітних характеристик на вищеописаному магнітометрі, являє собою складну задачу. За допомогою пресування та фіксації форми нами було виготовлено циліндричний зразок ТМ з магнетитом, придатний для вимірів на магнітометрі. Маса зразка магнітного ТМ дорівнювала близько 80 мг. Для цього

зразка на магнітометрі визначена крива намагніченості яка представлена на рис. 8. Як можна бачити з цього рисунку намагніченість насичення для дослідженого зразка дорівнює $4,8 \cdot A \cdot m^2/kg$. Вигляд кривої, що представлена на рис.8, значно відрізняється від класичних кривих намагнічування. Це може бути обумовлено фазовим складом частинок дослідженого зразка, значенням його намагніченості насичення або особливостями підготовки зразка ТМ для досліджень. Також була досліджена крива намагнічування порошкоподібного синтетичного зразка, який отримано без ТМ (рис. 8).



а)



б)

Рис. 8. Крива намагніченості: а) зразку поліамідного ТМ, на поверхні якого осаджено наномангнетит за механізмом гетерокоагуляції; б) порошкоподібного зразка синтетичного магнетиту

Відповідно до даних, наведених на рис. 8, намагніченість насичення отриманого нами синтетичного порошку дорівнює $60 \cdot A \cdot m^2/kg$. Слід відзначити, що намагніченість добре закристалізованих макроскопічних зразків магнетиту дорівнює $92 \cdot A \cdot m^2/kg$, що суттєво відрізняється від значення намагніченості досліджених синтетичних зразків. Різниця у значеннях намагніченості насичення синтетичних порошків та макроскопічного магнетиту може бути обумовлена багатьма факторами.

Найбільш ймовірними серед яких є наявність інших, крім магнетиту, мінеральних фаз в синтетичних порошках, наприклад, маггеміту, гематиту та гетиту, малий розмір частинок, а також низький ступень кристалічної решітки синтетичних зразків. Хоча намагніченість досліджених порошкоподібних

синтетичних зразків є меншою, ніж намагніченість добре закристалізованих макроскопічних зразків магнетиту, вона є досить великою, тому синтезовані порошки ми умовно будемо називати магнетитом.

Виходячи з порівняння магнітних характеристик ТМ з магнітними характеристиками порошкоподібних зразків, припускаючи що магнітні характеристики мінеральних частинок у ТМ та в порошках є однаковими (аналогічний метод синтезу), можна оцінити вклад магнетиту у вагу досліджених текстильних матеріалів. Ці оцінки показують, що вклад магнетиту в вагу текстильного матеріалу складає приблизно 8 %.

Кількісне визначення магнітних характеристик ТМ, на які осаджено магнітні наночастинки, є складною та нетривіальною задачею. Наведена вище методика, незважаючи на наявність багатьох припущень та методичних труднощів, дозволяє тільки оцінювати магнітні характеристики ТМ, на які осаджено магнітні наночастинки. Більш досконалі методики дозволять отримувати детальну кількісну характеристику магнітних ТМ, а також кількісно описувати залежність цих характеристик від особливостей технологій омагнічування ТМ різного типу.

6.2.2.2 Встановлення впливу умов на магнітні властивості поліамідних текстильних матеріалів, оброблених наномігнетитом

Викликає інтерес до визначення умов, які впливають на магнітні властивості ТМ. Тому доцільним було дослідити магнітні властивості ТМ, які відрізняються умовами оброблення до та після процесу осадження наночастинок магнетиту на текстильному матеріалі.

На рис. 9 представлено залежність величини намагніченості насичення (M_{s3} , $A \cdot m^2/kg$) від концентрації (C , г/л) сірчаноокислого заліза у фарбувальній ванні при гетерокоагуляції наночастинок магнетиту на попередньо обробленому поліамідному ТМ розчином хлористого натрію (трикотажне полотно) з подальшим обробленням у вигляді промивання забарвленого ТМ розчином хлористого натрію і дистильованою водою і окремо тільки розчином хлористого натрію.

Криві, що зображені на рис. 9 (а, б) побудовані за розрахованими значеннями намагніченості насичення з використанням програми CurveExpert 1.3., описуються за допомогою емпіричних рівнянь: Rational Function: $y = \frac{a+bx}{1+ex+dx^2}$, $a = 0,0095098437$; $b = 0,23052128$; $c = 0,1029603$; $d = 0,00019969007$ (рис. 4.11) і Exponential Association (рис. 4.12): $y = a(1 - e^{-bx})$, $a = 2.2194333$; $b = 0.058811049$ з високим значенням коефіцієнту кореляції ($R = 0,993$; $R = 0,985$).

З експериментальних даних, що представлені на рис. 9 встановлено, що максимальне значення величини намагніченості насичення поліамідного ТМ досягається при концентрації сірчаноокислого заліза у фарбувальній ванні, що дорівнює 60 – 80 г/л з промиванням дистильованою водою і 40 – 60 г/л з промиванням тільки розчином хлористого натрію.

Необхідно зазначити, що отримані значення характеристики магнітних властивостей і кількості магнетиту нанорозмірів на ТМ (що характеризується величиною оптичної густини) досягаються за неоднакових концентрацій сірчаноокислого заліза у фарбувальній ванні. Таку обставину можна пояснити тим, що магнітні властивості попередньо обробленого ПА текстильного матеріалу визначаються не тільки кількістю синтезованого наномагнетиту у фарбувальній ванні у присутності КПАР і гетерокоагуляцією наночастинок магнетиту на поліамідному ТМ (концентрацією наночастинок магнетиту на волокні), а і розподілом наночастинок по поверхні ТМ.

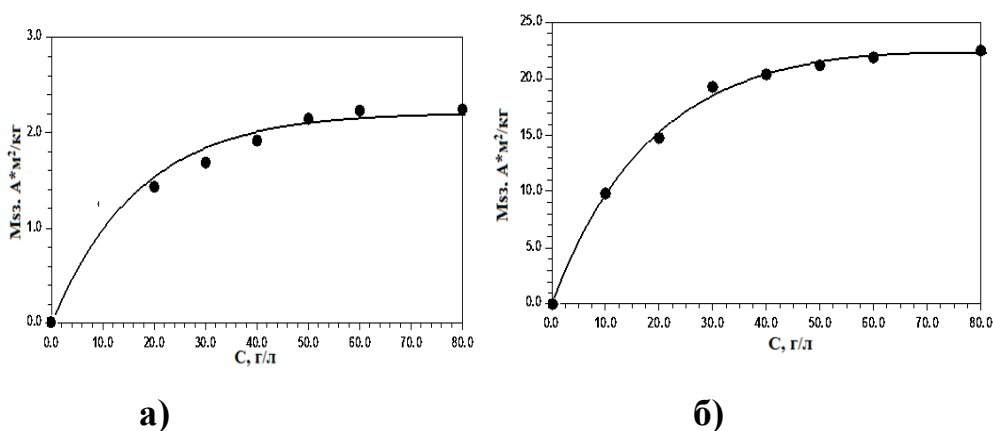


Рис. 9. Залежність величини намагніченості насичення (M_{s3} , $A \cdot m^2/kg$) від концентрації (C , г/л) сірчаноокислого заліза в оброблювальній ванні при гетерокоагуляції магнетиту на поліамідному ТМ з промиванням (а) і без промивання (б)

Також можна стверджувати, що реалізації механізму гетерокоагуляції сприяють відмінності електроповерхневих сил взаємодіючих поверхонь: позитивно заряджена поверхня наночастинок магнетиту (за умови стабілізації їх КПАР) і попередньо оброблена поверхня ПА ТМ розчином NaCl. Встановлено, що попереднє оброблення ПА ТМ і його промивання суттєво впливає на кількість і розподілення наномагнетиту (магнітного коагулята), що осаджується на поверхні текстильного матеріалу за механізмом гетерокоагуляції після синтезу магнетиту у присутності КПАР. Таким чином, найвищі результати за величинами намагніченості насичення досягнуті після попереднього оброблення ПА ТМ, що сприяють посиленню заряду поверхні, її нейтралізації або призводять до зміни знаку заряду поверхні ТМ, і його промивання тільки розчином хлористого натрію.

Досліджено магнітні характеристики ТМ, отриманого у результаті реалізації розробленої нанотехнології створення магнітного матеріалу з використанням механізму гетерокоагуляції, які свідчать що магнітні текстильні матеріали технологічно прийнятні для виготовлення дослідного зразка захисного костюму та гнучкого текстильного екрану [308].

Загальний висновок. Експериментально підтверджена можливість створення текстильних матеріалів з магнітними властивостями на основі синтетичних волокон шляхом синтезу магнетиту в оброблювальній ванні і осадження частинок з використанням механізму гетерокоагуляції; експериментально показана необхідність оброблення текстильного матеріалу розчином електроліту перед проведенням процесів синтезу магнетиту і його гетерокоагуляції на текстильному матеріалі. Досліджено вплив типу електроліту на ефективність попереднього оброблення розчином електроліту і встановлено, що вплив електроліту при гетерокоагуляції наночастинок магнетиту з поверхнею текстильного матеріалу не збігається з правилом Шульце–Гарді і носить протилежний характер; розроблено метод отримання текстильних матеріалів з магнітними властивостями шляхом оброблення із наносистем, що включає паралельний синтез нанодисперсій магнетиту в присутності поверхнево-

активної речовини та поліамідного текстильного матеріалу і гетерокоагуляції наночастинок на поверхні синтетичних текстильних матеріалів; визначено технологічні параметри отримання текстильних матеріалів з магнітними властивостями на основі синтетичних текстильних матеріалів, які забезпечують максимальну кількість нанодисперсного магнетиту, осадженого на текстильному матеріалі; у результаті розробленого способу створення магнітного текстилю за механізмом гетерокоагуляції отримано текстильний матеріал, намагніченість насичення якого складає $2 \div 3 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{кг}$.

6.3 Експериментальні дослідження отримання порошкової форми високоволової суспензії синьо-зеленої водорості методом розпилювального сушіння

На даний час все більшої популярності в харчуванні людей набувають біологічно активні препарати у вигляді харчових добавок. Одними з таких препаратів є синьо-зелені водорості, зокрема спіруліна. Спіруліна містить повноцінний рослинний білок, розчинну та нерозчинну клітковину, комплекс вітамінів, мінералів та амінокислот. Ці компоненти сприяють підвищенню опірності до інфекційних захворювань, допомагають боротися зі стресом, старінням, зміцнюють організм загалом.

Метою проведення досліджень було одержання водорості спіруліни у сухому порошкоподібному вигляді з максимальним збереженням біологічно активних складових.

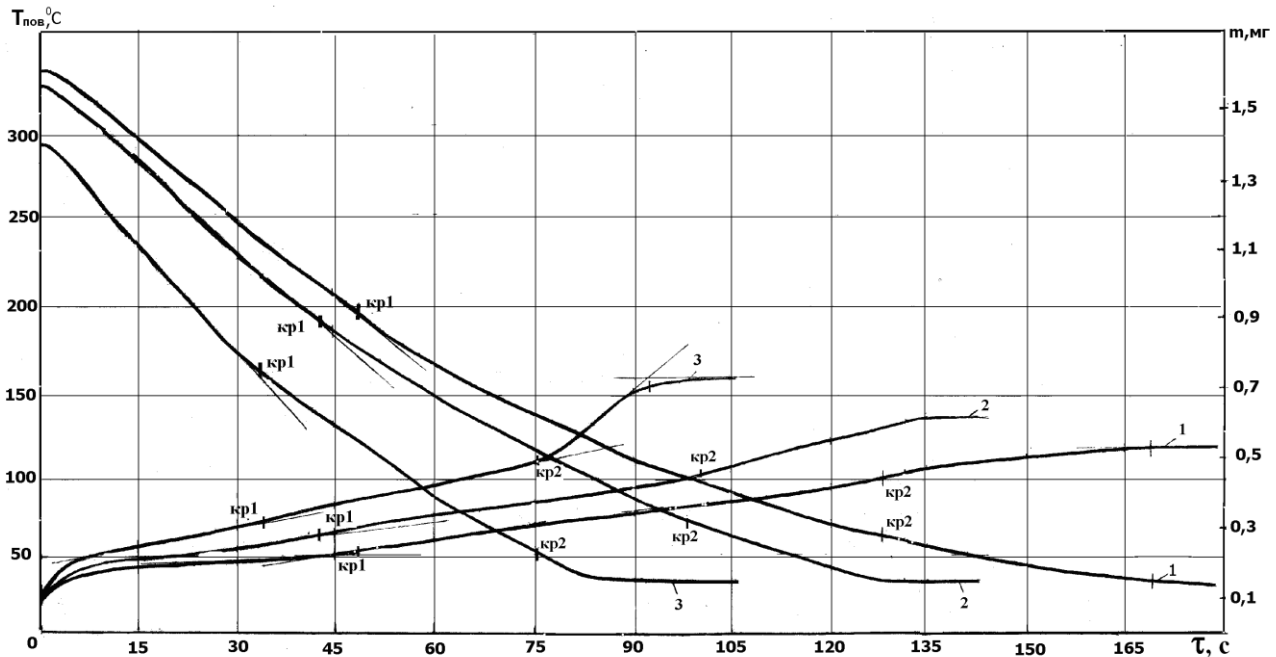
Проведено комплекс досліджень з розпилювального зневоднення суспензії спіруліни, що включає дослідження кінетичних особливостей зневоднення та теплотехнологічних параметрів розпилювального способу сушіння таких продуктів.

В Інституті технічної теплофізики (ІТТФ) НАН України були розроблені і створені лабораторні установки для дослідження кінетики процесу термічного зневоднення з метою виявлення ступеня впливу внутрішніх процесів тепловологодпереносу в одиничній краплі (частці) на інтенсивність та тривалість зневоднення та дозволяють змодельовати процеси, що відбуваються в камері розпилювальної установки [309].

Дослідження кінетики випаровування і сушіння одиничних крапель суспензії спіруліни і змін, які при цьому вона зазнає, проводилися на експериментальному стенді в статичних умовах ($v_{\text{пов}} = 0$ м / с). Стенд дозволяє отримати додаткову інформацію про зміну маси краплі $m(\tau)$, що дає можливість аналізувати кінетику процесу одночасно на масо- і термограммах [309].

Температура повітря змінювалася в діапазоні $T_{\text{пов}} = 120...160^{\circ}\text{C}$. Початкова концентрація сухих речовин суспензії становила $C_0 = 14\%$.

На мал.1 показані термограми $t_{\text{кр}}=f(\tau)$ та масограми $m_{\text{кр}}=f(\tau)$, які спостерігалися при зневодненні крапель суспензії спіруліни розміром $\delta_0 \sim 1,45$ мм.



Малюнок 1. Термограми (1,2,3) та масограми (1',2',3') процесу зневоднення одиничних крапель суспензії водорості спіруліни в статичних умовах, $T_{\text{пов}}$: 1 - 120°C ; 2 - 140°C ; 3 - 160°C

Термограми процесу випаровування і сушіння одиничних крапель суспензії спіруліни при всіх $T_{\text{пов}}$ мають 3 періоди:

I – період прогрівання;

II – період випаровування вологи з вільної поверхні, який проходить при температурі, що близька до температури мокрого термометра ($t_{\text{кр}} \approx t_{\text{м.т}}$);

III – період кіркоутворення (кр1 - кр2) та заключної стадії зневоднення, в якому інтегральна температура краплі $t_{\text{кр}}$ різко підвищується за рахунок утворення на поверхні краплі твердого (щільного) шару нерозчинних речовин, який лімітує масоперенос, що зумовлює підвищення температури краплі.

Заключний період зневоднення завершується, коли температура частинки t_c досягає температури теплоносія $T_{пов}$.

Необхідно відзначити, що якщо при $T_{пов} = 120^{\circ}\text{C}$ випарна стадія протікає практично без підвищення температури, то при $T_{пов} = 140, 160^{\circ}\text{C}$ спостерігається деяке збільшення температури краплі в цьому періоді. Тривалість випарної стадії для всіх наведених термограм становить $\approx 30\text{-}35\%$ від загального часу процесу сушіння, протягом якої випаровується близько 45% вологи. Точка $кр1$ характеризує завершення випарної стадії і початок періоду кіркоутворення, в якому відбувається утворення деякого сухого шару на поверхні краплі, що зневоднюється. Цей період при всіх $T_{пов}$ проходить з лінійним підвищенням температури краплі, тобто $dt/d\tau = \text{const}$ до точки $кр2$. Потім настає період сушіння - видалення вологи через скоринку, що утворилася.

Розрахунок основних кінетичних параметрів наведено в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1. Кінетичні характеристики при зневодненні
одиничних крапель суспензії водорості спіруліни

$T_{пов},$ $^{\circ}\text{C}$	$\tau_{заг},$ с	$\tau_{вип},$ с	$\tau_{кірк},$ с	$m_0,$ мг	$m_{кр1},$ мг	$m_{кр2},$ мг	$t_{кр1},$ $^{\circ}\text{C}$	$\tau_{вип}/\tau_{заг}$	$\tau_{кірк}/\tau_{заг}$
120	169	49	78	1,60	0,90	0,28	46	0,28	0,46
140	135	42	57	1,56	0,88	0,32	56	0,30	0,42
160	92	34	41	1,40	0,74	0,24	60	0,36	0,44

Таблиця 2. Інтенсивність тепло- вологовіддачі в різних стадіях зневоднення.

$T_{пов},$ $^{\circ}C$	$\delta_0,$ мм	$\delta_{кін},$ мм	$I_{вип}$	$I_{кірк}$	\bar{I}	$N_{вип}$	$N_{кіркк}$	\bar{N}
120	1,45	1,35	$14,2 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
140	1,43	1,35	$16,2 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$	$11,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
160	1,38	1,3	$19,4 \cdot 10^{-3}$	$12,2 \cdot 10^{-3}$	$15,2 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$

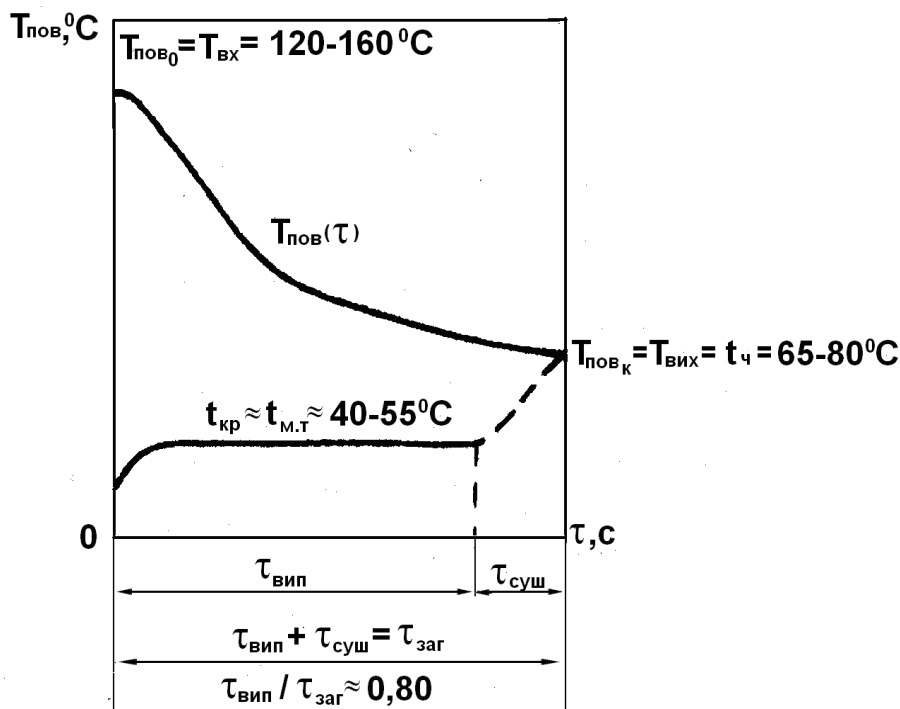
Як видно з термограм та даних табл. 1 період кіркоутворення має тривалість дещо більшу, ніж випарна стадія. У періоді кіркоутворення випаровується близько 35% вологи, температура краплі підвищується від $t_{кр} \approx t_{м.т}$ до $t_{кр} \approx 100^{\circ}C$. Важливо, що на всіх термограмах при різних $T_{пов}$ в камері, відсутній період кипіння, поява якого зазвичай свідчить про негативний термічний вплив при інтенсивному випаровуванні на продукт під скоринкою твердої речовини, що утворилася. Відсутність періоду кипіння пояснюється тим, що структура твердої оболонки досить рихла, досить вологопровідна і тому в процесі сушіння не виникає ніяких деформаційних змін частинки. Це підтверджується ще й тим, що кінцевий розмір висушених часток практично однаковий для всіх дослідів незалежно від зміни температури повітря в камері (табл. 2).

Після точки $кр2$ настає завершальна стадія - сушіння, яка протікає при плавному підвищенні температури до $t_{кр} = t_{ч} = T_{пов}$. Час цієї стадії незначний. Це також говорить про те, що інтенсивність вологовіддачі не лімітується структурою частинки, що утворилася.

Аналізуючи кінетичні криві сушіння одиночних крапель суспензії спіруліни видно, що підвищення температури повітря дозволяє скоротити час зневоднення, так як інтенсивність зневоднення (табл. 2) зі збільшенням $T_{пов}$ зростає.

$$\text{Так: } \frac{\left[\frac{N_{\text{вип}}}{\delta_0^2} \right]_{160^\circ\text{C}}}{\left[\frac{N_{\text{вип}}}{\delta_0^2} \right]_{120^\circ\text{C}}} = \frac{9,9 \cdot 10^{-3}}{7,1 \cdot 10^{-3}} = 1,39; \quad \frac{\left[\frac{N_{\text{кірк}}}{\delta_0^2} \right]_{160^\circ\text{C}}}{\left[\frac{N_{\text{кірк}}}{\delta_0^2} \right]_{120^\circ\text{C}}} = \frac{4,9 \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-3}} = 1,58$$

Зневоднення крапель у нагрітому повітряному середовищі в умовах камери розпилювальної сушарки протікає при зміні $T_{\text{пов}}$ від $T_{\text{пов(вх)}}$ до $T_{\text{пов(вих)}}$ і температура рівноважного випаровування, або температура мокрого термометра (мал.2), буде $t_{\text{кр}} \approx t_p \approx t_{\text{м.т}} = 40 \dots 55^\circ\text{C}$. Значення $t_{\text{м.т}}$ залежить від параметрів нагрітого повітря: температури та вмісту вологи. І лише на завершальній стадії підсушування частинок здійснюється при температурі, яка підвищується від $t_{\text{м.т}}$ до $T_{\text{пов(вих)}}$.



Малюнок 2. Зміна температури повітря та температури краплі (частки) від часу при зневодненні високовологих суспензій.

Проведені дослідження підтверджують можливість отримання цього продукту в порошкоподібній формі шляхом розпилювального зневоднення із збереженням біологічно активних складових спіруліни. Слід також зазначити, що в кінці досвіду частка була суха, а отже, продукт не є термопластичним.

Наступний етап досліджень – особливості процесу розпилювального сушіння, проводився на лабораторній розпилювальній установці. Установка складається з розпилювальної камери $D=1,3$ м типу циліндр-конус з верхнім підведенням теплоносія, пристрою, що розпилює, ділянки підготовки теплоносія, ділянки транспортування і сепарації сухого продукту, розвантажувального пристрою. В якості розпилюючого пристрою використовувався відцентрово-дисковий розпилювач з диском $d = 120$ мм, частотою обертання диска $n=18000$ об/хв. Як теплоносієм використовується повітря. Частинки висушеного продукту, що утворюються в сушильній камері, направляються в циклон, звідки після сепарації надходять у вивантажувальний пристрій. Отримані дані по розпилювальному сушінню спіруліни відображені в табл. 3. Як вихідний продукт використовувалася паста спіруліни, вироблена на одному з підприємств України, вологістю $W_0 = 75,5\%$.

Таблиця 3. Результати сушки суспензії
спіруліни на лабораторній сушарці

№	Кільк. розчину, л	C_0 , %	$t_{вх}$, °C	$t_{вих}$, °C	Кільк. отриман. порошку, г	Вологість порошку, %	Продук- тивність у-ки по розчину, л/год	Продук- тивність у-ки по вип. волозі, л/год	Час дослід
1.	29	13,4	155- 160	78- 80	3800	5,2	5,8	5,02	5год
2.	27	15,5	160- 170	90- 92	4155	5,3	6,7	5,66	4год
3.	27	12,4	160- 170	78- 82	3200	-	5,6	4,90	4год 45хв
4.	17	13,3	160- 170	86- 90	2325	5,1	5,7	4,94	3год
5.	12	13,1	160- 170	92- 94	1515	3,7	7,2	6,25	1год 40хв
6.	10,5	13,5	160- 170	90- 92	1450	4,1	6,3	5,4	1год 40хв

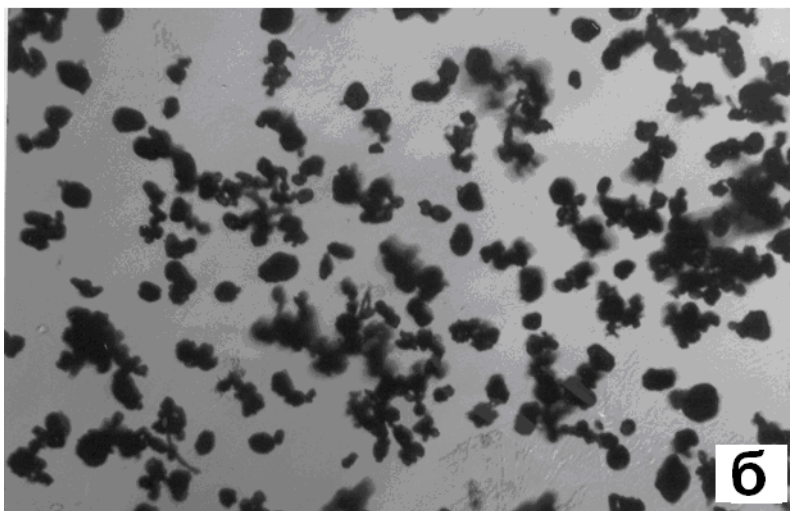
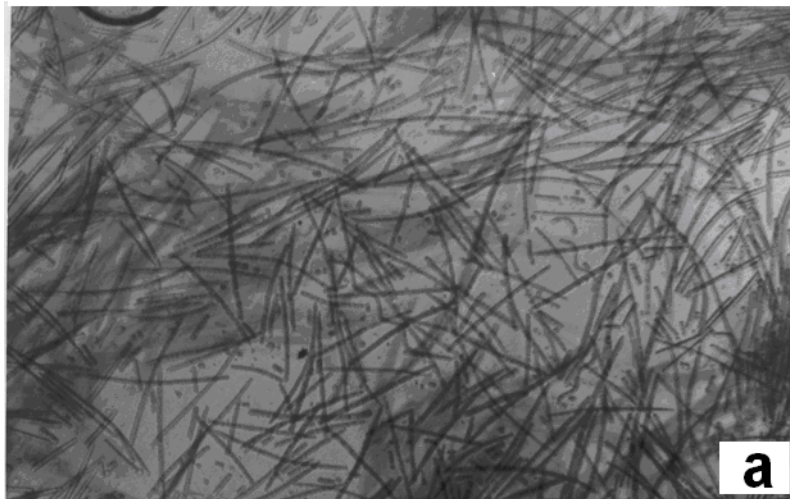
У дослідях 1,3 (табл. 3) були заміряні втрати порошкоподібного продукту з відпрацьованим теплоносієм, який через циклон та матер'яний фільтр викидається в атмосферу. Кількість порошку, що осів на фільтрі, склало 17,6 г і 12,3 г, що становить ~ 0,45% втрат від загального отриманого порошку спіруліни.

Після закінчення сушіння при відкритті сушильної камери у всіх дослідях спостерігалися незначні відкладення порошку на стелі і стінках камери, які легко видалялись. У досліді 2 заміряли кількість порошку, що осів на стінках. Його вага склало 70 г, що становило ~ 1,68% від загального отриманого порошку спіруліни.

При сушінні суспензії спіруліни питомі витрати електроенергії у перерахунку на 1 кг випареної вологи становили 2,5 – 2,7 кВт·год або 9700 – 10800 кДж.

Було проведено аналіз дисперсійних та структурно-механічних характеристик порошоків. Отриманий порошок - темно-зеленого кольору з характерним запахом водорості. Насипна вага порошку $\rho=0,314 - 0,316$ г/см². Також отримані фотографії мікроструктури початкового продукту, порошкоподібного та продукту після редиспергації у воді (мал. 3).

Початковий продукт має голчасту (ниткоподібну) структуру (мал. 3а), порошкоподібний - сферичну або овальну (мал. 3б). Продукт після розчинення порошку має голчасту структуру, але ці голки (або нитки) значно меншої довжини, ніж початкової суспензії (мал. 3в). Частинки сухого порошку, як видно із мал. 3б, досить однорідні, середні розміри становлять 48...64 мкм. У полі зору не спостерігалися дуже дрібні частинки та дуже великі. Це свідчить про високу ефективність використання для такого продукту відцентрового дискового розпилювача, який диспергує ниткоподібні структури на такі розміри, які потім «згортаються» у сферичну форму. Це ще раз підтверджує доцільність отримання таких продуктів у порошкоподібній формі на розпилювальній сушильній установці, оскільки виявлений ефект сприятиме кращому засвоєнню біологічно активних речовин організмом.

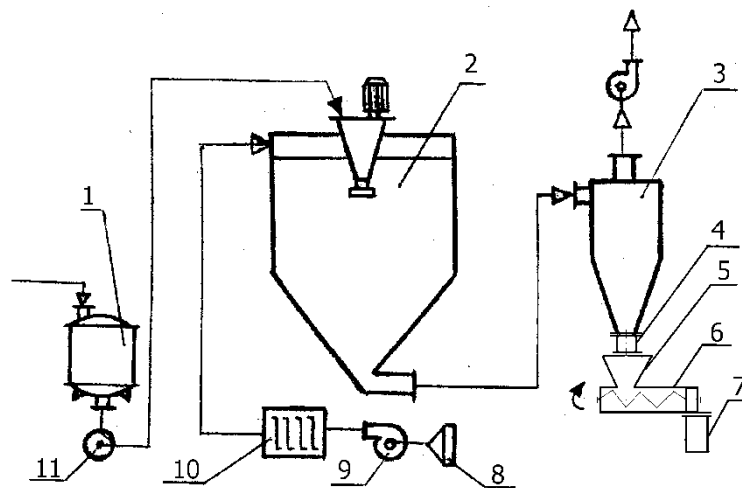


Малюнок 3. Мікрофотографії частинок водорості спіруліни:

а) вихідний продукт; б) порошкоподібний продукт; в) продукт після розчинення порошку

Отриманий порошкоподібний продукт водорості спіруліни було проаналізовано на різні якісні показники лабораторією по вирощування спіруліни. Аналіз показав високу біологічну активність, що підтверджує досить м'які температурні умови розпилювального способу сушіння. Процес сушіння протікає досить інтенсивно, що веде до суттєвого скорочення часу зневоднення, а це зумовлює незначний термічний вплив на якісні характеристики, що, як відомо, визначається впливом двох параметрів – температури та часу.

На підставі проведених досліджень рекомендується розпилювальний спосіб сушіння суспензії водорості спіруліни як спосіб, що гарантує отримання якісного сухого порошку спіруліни. Для реалізації цього способу рекомендується розроблена в ІТТФ НАН України розпилювальна сушильна установка СУМ-1,5 (мал. 4,5).



Малюнок 4. Схема розпилювальної сушарки СУМ-1,5:

- 1 - ємність для вихідного продукту; 2 - сушильна камера; 3 - циклон;
4 - шлюзовий затвор; 5 - бункер; 6 - шнековий транспортер; 7 - контейнер;
8 - фільтр; 9 - вентилятор; 10 - електрокалоріфер; 11 – насос.

Установка має камеру з діаметром циліндричної частини $D_{\text{кам}}=1,5$ м, висотою $H_{\text{кам}}=3,8$ м та об'ємом $V_{\text{кам}}=2,95$ м³; розпилювач відцентровий дисковий Ц-18: $d_{\text{д}}= 0,12$ м, $n = 18000$ об/хв; циклон спірально-конічного типу діаметром

0,3 м; систему для вивантаження та охолодження готового порошкоподібного продукту у вигляді шнекового пристрою.

Продуктивність сушарки по випареній волозі становить 20...25 кг/год. Витрата повітря, що подається в камеру - 750 50 кг/год, температура повітря на вході може змінюватися в діапазоні $T_{вх}=120...240^{\circ}\text{C}$, на виході $T_{вих}= 75...105^{\circ}\text{C}$. Нагрівання повітря проводиться в електрокалорифері. Потужність електрична встановлена - 55 кВт, витрати е/е в робочому режимі 35-40 кВт. Висушений продукт після циклону зсипається в бункер, а звідти через шнековий пристрій, де відбувається його часткове охолодження, надходить на розфасовку.



Малюнок 5. Загальний вигляд промислової розпилювальної установки СУМ-1,5

SECTION 7. MECHANICAL ENGINEERING

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.7.1

7.1 Increasing the service life of cutting elements of motor grader working parts

Ensuring sufficiently high durability of cutting elements (CE) used in motor graders and other earthmoving machines (EM) is considered to be one of the compulsory conditions determining the reliable operation of earthmoving machines (EM) and the highest efficiency of their operation. This is due to the fact that the decrease in the durability of (EM) occurs due to the excessive abrasive wear of their (CE) [310, 311].

EM in most cases develop sandy, clayey, coarsely ground and semi-rocky soils. At the same time, the work of bulldozers, motor graders, loaders, and scrapers is based on the principle of frontal cutting of such soils. In turn, the operation of soil development using EM consists of introducing CE into the soil and its subsequent gradual cutting. Therefore, the CE is affected by bending and compressive forces, frictional forces and dynamic loads that arise when solid particles collide with cutting elements. The degree of impact of such particles on CE depends on the category of soil, which is characterized by an abrasiveness coefficient. At the same time, the cutting elements of EM are subject to intense wear, which is accompanied by the action of many loads, which include: shock, abrasive and thermal. In addition, with increasing service life of the CE, the influence of the fatigue and oxidative wear components increases. Thus, during operation, CE are constantly exposed to the influence of the developed environment, which is expressed mainly through the influence of shock-abrasive and alternating loads under conditions of temperature changes against the background of a decrease in corrosion resistance and fatigue strength, which leads to a significant decrease in the physical and mechanical properties of the material of the cutting elements (softening, decrease in hardness and wear resistance).

It is important to note that CE are also subject to corrosion destruction. First of all, this is explained by the fact that the soil constantly contains a certain amount of

water. Therefore, the soil, accordingly, has moisture, which is the ratio of the mass of water to the mass of mineral particles. In dry sands, humidity varies from 1 to 2%, and in fluid clays and river silt – up to 200% [310, 311].

The formation of corrosion manifests itself through intense oxidation of the metal of cutting elements by atmospheric oxygen, during which the formation of metal oxides (FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , etc.) occurs. After the oxides settle on the metal surface, a loose and dense film of corrosion products forms [310, 311].

In connection with this, there is a search for new, as well as improvement of the existing methods for reducing abrasive wear of CE materials used for their manufacture. It is possible to reduce the abrasive wear of CE by several methods (by hard surfacing with various alloys, volumetric hardening, surface strengthening, etc.). However, these methods have a number of shortcomings, since they worsen the stress-free state of the material after the application of a particular technology and, as a consequence, lead to insufficient resistance to abrasive wear during operation of CE in the operating environment (dredging soil).

The solution of the problem can be expected by using an ion-plasma coating (IPC) $\text{TiN-Cr}_2\text{N}$ on the surface of the CE [312]. However, at present there is no information in the literary sources about the use of such coating for the CE of EM. In case of a positive result of such a solution to the problem, it becomes possible to increase the service life of the EM in difficult operating conditions, to cut downtime on repair, as well as the cost of restoring or replacing worn-out electronic devices with new ones.

To assess the efficiency and obtain quantitative specifications confirming the positive effect of IPC application in real operating conditions, the corresponding tests of DZ-180 motor grader were carried out (Fig. 1).



Figure 1. General view of the auto grader DZ-180 with cutting knives hardened by high frequency currents (HFC) (1) and HFC + TiN-Cr₂N (2)

Operational tests of auto grader DZ-180 were carried out in two stages. At the first stage of testing, the grader blade was installed at the angle of 90 °, at which loading on the knives was maximum [313], and therefore their durability was the smallest. In addition, such entrance angle ensures uniform abrasive runout of the knife along the entire length.

At the second stage of testing, the auto grader was operated in regular operation mode without any limiting, so it performed all types of work in which the blade entrance angle varied from 10 to 90 °.

During the first stage of testing, two middle knives made of 65G steel after hardening with high frequency current were cut into two parts each (Fig. 2). By doing so, the smaller two parts of the knife (Fig. 2 b) were grinded to a surface of roughness 0.32 μm and then subjected to IPC TiN-Cr₂N under the conditions presented in Table. 1 [313, 314]. The applied coating consists of a fusion of alternating five layers of Cr₂N and four layers of TiN. In the process of applying multilayer coating there occurs tempering of steel 65G, which leads to a decrease in hardness to HRC 30. After thermal treatment, the hardness of the substrate constitutes HRC 50-54 [315].

Table 1

Modes of TiN-Cr₂N coating [314]

Emission cathode material	Current on Cr, A	Current on Ti, A	Voltage <i>U</i> , V	Current <i>I</i> , A	Pressure <i>P</i> , Pa	Deposit on time <i>t</i> , min
1st stage: cleansing, heating and activation by chromium ions						
chromium	80	–	90	2	1,33	7
2nd stage: spraying of coating in nitrogen atmosphere						
2 cathodes: 1st chrome 2nd titanium	80	70	150	3	0,67	25



a)

b)

a) – cutting knives with HFC hardening;

b) – cutting knives with HFC and IPC TiN-Cr₂N hardening

Figure 2. Auto grader cutting knives made of 65G steel.

Further, the cutting knives with and without coating were installed on the blade of the auto grader DZ-180 in the order shown in Fig. 1, that is, the parts of the knife without a coating (1) and with the TiN-Cr₂N IPP coating (2) were taking turn (interleaving). After that, the auto grader was subjected to operation for 150 machine-hours, which under normal operating conditions provides the cutting knives greatest wear [312].

Before the performance testing of the auto grader, the blade cross-sectional thicknesses were measured using a plaster mix. For this, it was taken a mixture, consisting of gypsum and alabaster in a ratio of 10:1. The method to determine the thickness of the cross-section consisted in fact that motor grader cutting knives were placed in plastic molds, filled with carefully whipped plaster mixture (Fig. 3). Each cutting knife fragment was mounted on three identical plastic containers with a gypsum mixture. In this case, one container with the mixture was placed in the center of the cutting knife fragment, and the remaining two were placed along the edges. In this position, the cutting knives have been kept for 1 hour (Fig. 3). After an hour, all the fragments of the cutting knives were dismantled from the containers together with the hardened gypsum mixture. Then these containers were cut along the cross section of the cutting knife, the trace of which remained after dismantling (Fig. 3).

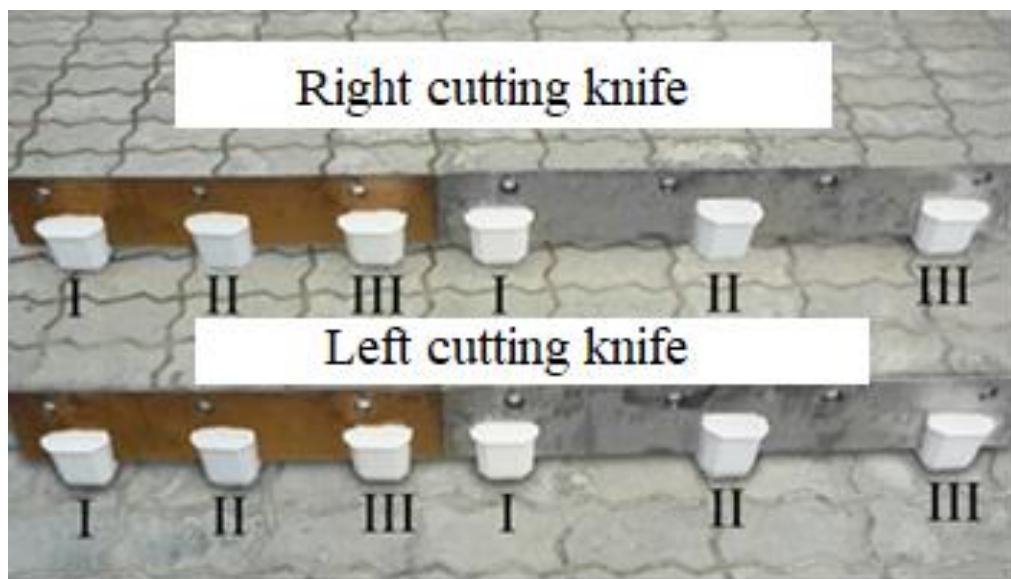


Figure 3. Plastic molds with medium cutting knives before testing on the motor grader DZ-180.

Then, the received cuts of the knife cross-section were scanned using the Canon MP280 multifunctional device. On 12 prints of the cross-section of the cutting knife, obtained as a result of scanning before and on 12 prints after the operation of the auto grader using the KOMPAS-3D V19 program, the thickness of the cross-section of the cutting knife was defined at a height of 12 mm from the top of the print. The choice

of this height rate is due to the fact that the wear-out of the cutting knives occurs evenly over the entire surface, which is connected with the installation of the blade at an angle of 90° relatively to the direction of the motor grader movement.

Each cutting knife (right and left) of the auto grader was measured six times in total. However, due to the fact that the side cutting knives overlapped the ends of the middle cutting knives during installation (Fig. 1), the wear-out value of the first zone of the left and third zone of the right cutting knife wasn't taken into account, as cutting knife wear in these zones occurred only on the rear surface. In this regard, in order to obtain reliable experimental results, the wear-out values of the grader knife were taken into account only for five zones of the same cutting knives with HFC hardening and for five with TiN-Cr₂N coating.

The purpose of the second stage of the tests was to establish the wear-limit of the parts of the cutting knife with HFC hardening and TiN-Cr₂N coating under normal operating conditions [316].

At the second stage of the tests, the auto grader performed all the regular work (repair and maintenance of the road surface, profiling of the ground, road construction, etc.), herewith, the cutting knife installation system used was the same as in the first stage of testing the auto grader.

During the entire test period, the cutting knives were dismantled every 50 machine-hours and their thickness was determined according to the method described above. Fragments of the standard cutting knife subjected to HFC hardening were tested until their wear reached the limit value, and fragments of the cutting knife with IPC continued to operate up to the amount of wear corresponding to the limit wear of standard cutting knives.

The results of cross-sectional measurements of wearing values are presented in table. 2, and in fig. 4.

As it can be seen from table 2, the wear on the first zone of the left cutting knife and on the third zone of the right cutting knife have the lowest values. This is due to the fact that in the process of mounting the middle cutting knives, their outer parts are

overlapped by the bits (side cutters) installed on the top i.e. only the rear surface of the cutting knife on these zones and the front surface of the bits are worn.

Table 2.

Thickness and wear of the auto grader blade after operation for 150 machine-hours

Parameter	Knife cross-section thickness, mm											
	Left knife						Right knife					
Knife type	With HFC hardening +IPC TiN-Cr ₂ N			With HFC hardening			With HFC hardening +IPC TiN-Cr ₂ N			With HFC hardening		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Before testing	7,331	7,304	7,312	7,283	7,237	7,247	7,290	7,311	7,304	7,223	7,242	7,291
After testing	6,555	5,515	5,553	4,527	4,428	4,415	5,607	5,584	5,534	4,479	4,444	6,065
Wearing, mm	0,776	1,789	1,759	2,756	2,809	2,832	1,683	1,727	1,770	2,744	2,798	1,226

The least wear also occurs with TiN- Cr₂N IPC of cutting knives. For example, the wear of the second and third zones of the left cutting knife with TiN-Cr₂N is 1.57 and 1.61 times less than the wear of the same zones of the left cutting knife after HFC hardening. The wear of the first and second zones of the right cutting knife with IPC, is 1.63 and 1.62 times less than the wear in the same zones for the right knife with HFC hardening. Comparing the wear values of the out areas (the first zone on the left and the third zone of the right cutting knife), we can conclude that the process of wear on the back surface was less intense than on the rest of the cutting knife. However, the wear of the first zone of the left cutting knife with IPC TiN-Cr₂N is 1.58 times less

than the wear of the third zone of the right knife. Herewith, the wear of the cutting knives after HFC hardening, averaged 2.79 mm, and the same cutting knives, but with IPC TiN-Cr₂N -1.75 mm, i.e. 1.59 times less than the wear of regular cutting knives. In addition, during the operational tests of the cutting knives, an intense rounding of their cutting edge was observed (Fig. 4). At the same time, after 150 machine-hours of testing of the auto grader, the latter had a shape close to cylindrical. This led to a pronounced bluntness of the cutting knife, especially in those areas that were subject only to HFC hardening .

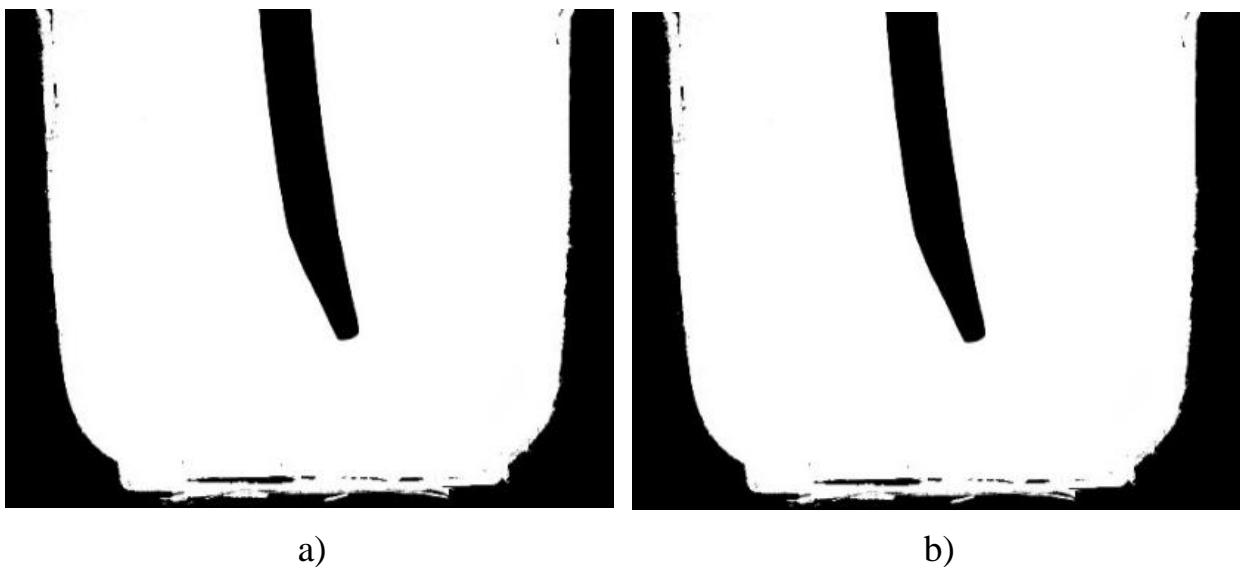


Figure 4. Imprint of the auto grader cutting knife cast after testing with IPP TiN-Cr₂N (a) and subjected only to HFC hardening (b).

Thus, at the location of the middle blade of auto grader at an angle of 90 °, the wear of cutting knives with IPC TiN- Cr₂N, on the average, was 1.6 times less than the wear of regular cutting knives after HFC hardening

The results of the second stage of tests during the long service life of the auto grader blades are shown in Fig. 5.

As it can be seen from the graphs presented in Fig. 5, the wear of standard cutting knives reached the limit value (7 mm) after 322 machine-hours of testing. The same amount of wear of cutting knives with IPC TiN- Cr₂N hardening reached after 550 machine-hours, which is 1.7 times more than regular cutting knives.

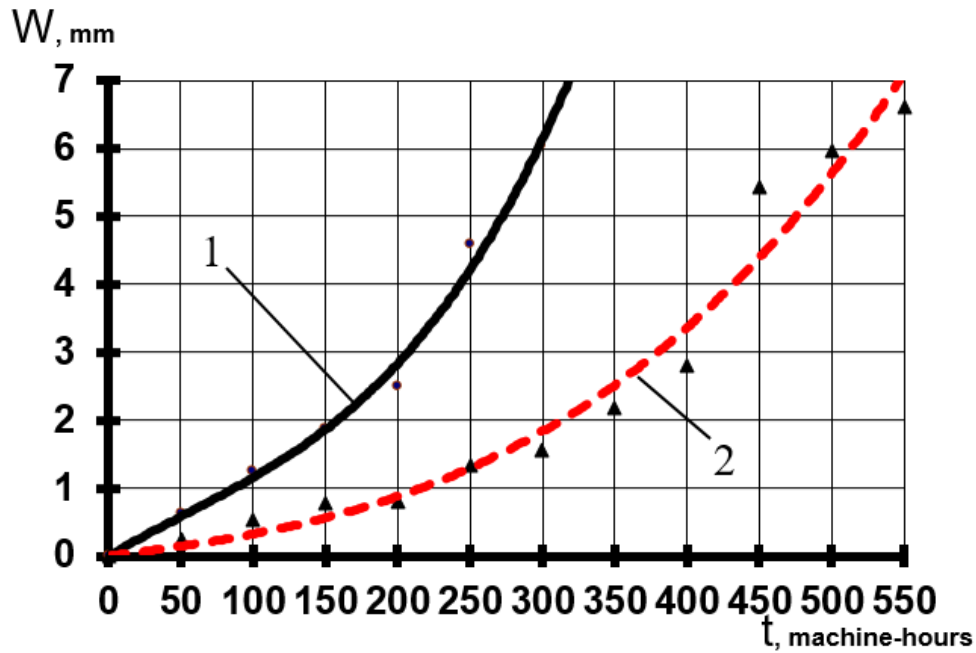


Figure 5. Dependence of wear W of a cutting element with HFC hardening (1) and with IPC TiN-Cr₂N hardening (2) on time t of operation.

The operational tests of the auto grader confirmed the positive effect of applying IPC TiN-Cr₂N on the surface of cutting knives with thickness of 4 μm and roughness of 0.32 μm , and the cutting knife material hardness of 50 HRC. This effect is expressed in a decrease in wear (increase in durability) of the medium auto grader cutting knives by an average of 1.6 times at the maximum loading on the blade (at the entrance angle 90°).

SECTION 8. METALLURGY AND ENERGY

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.8.1

8.1 Methodological approaches to identifying promising mines to provide fuel for thermal power plants

Після укладання у 2014 р. Угоди про асоціацію з ЄС, слідом за європейськими партнерами Україна брала на себе все більш амбітні зобов'язання з переходу на безвуглецеву енергетику. В Енергетичній стратегії України на період до 2035 р. передбачалось збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до 25% при зменшенні частки вугілля до 12,5%. У щойно презентованій в Лондоні Енергетичній стратегії України до 2050 р. [317] поставлено задачу до 2050 р. наростити потужності вітрової генерації – до 140 ГВт, сонячної – до 94 ГВт, накопичувачів енергії (energy storage) – до 38 ГВт, атомної генерації – до 30 ГВт, ТЕЦ та біоенергетичних потужностей – до 18 ГВт, гідрогенерації – до 9 ГВт, з відповідним зменшенням теплової генерації. В проекті Плану відновлення України Національної ради з відновлення України [318] поставлено задачу зменшення частки вироблення електроенергії з вугілля до 2% у 2032 р.

Не піддаючи сумніву необхідність загального руху разом з Європою в бік декарбонізації енергетики, зауважимо, що заплановані темпи цього руху не завжди враховують реалії воєнного часу в Україні та корегування європейських планів в умовах відмови від постачання російського газу.

В Україні вугілля є єдиним енергетичним ресурсом, який має достатньо запасів на сотні років, що визначає його провідну роль у забезпеченні вимог енергетичної безпеки. Різні аспекти ефективного функціонування енергосистем при забезпеченні енергетичної безпеки країни обговорюються в багатьох роботах [319-328].

Досягнення (відновлення) вугільного балансу в країні при гарантуванні належних рівнів енергетичної безпеки вимагає:

1) врахування деталізованої за марками та технологічним призначенням потреби на вугільну продукцію;

2) запровадження способів багатофакторного оцінювання вуглевидобувного підприємства як за виробничими і безпековими показниками, так і за критеріями ефективності, екологічної прийнятності, фінансового стану, гірничо-геологічних умов, соціальними тощо;

3) побудови нових та закриття збиткових вуглевидобувних підприємств;

4) значного підвищення продуктивності діючих шахт шляхом технологічного переобладнання;

5) відшукування доцільних джерел постачання окремих марок вугілля за імпортом, безпеки постачання, відповідності показників якості вимогам до штатного палива тощо;

б) жорсткого обмеження обсягів використання вугілля в цілому в економіці та соціальній сфері країни, що відповідає низьковуглецевому сценарію розвитку економіки країни.

Вирішення цих задач традиційно має місце в межах окремих моделей розвитку та оптимізації функціонування вугільної галузі [329-336].

Для вугільної галузі особливу актуальність має задача визначення методичних підходів до оцінки техніко-економічних параметрів вугільних шахт та їх формалізація.

У 2010 р. Міністерством вугільної промисловості України був проведений розподіл вуглевидобувних підприємств на групи за їх економічним і виробничим станом. У 2020 р. був розроблений проєкт концепції реформування вугільної галузі, що передбачав передачу частини шахт до ресурсної бази «Центренерго» з подальшою приватизацією, частина буде приватизована окремо, а ті, що не знайдуть приватного інвестора, будуть ліквідовані. Ці розподіли шахт за перспективністю були проведені методом експертних оцінок і не мали формальних критеріїв.

Спроба формалізації диференційованого підходу до ефективності розподілу бюджетних коштів між окремими вугільними підприємствами із

урахуванням терміну відпрацювання запасів і часового інтервалу прогнозування розглянута в роботі [337]. На основі даних з паспортів шахт і їх економічних показників, математичними методами визначався інтегральний показник перспективності. Як складові використовувалися дані про технологічні, економічні і природні чинники, що впливають на виробничо-економічний стан підприємства: встановлена виробнича потужність шахти, фактичний річний обсяг видобутку, рівень механізації робіт, ціна і собівартість вугілля, промислові запаси, глибина розробки пластів, потужність пластів, кут падіння пластів, зольність вугілля, водоприток, газоносність пластів.

В основі другого підходу до оцінки виробничо-економічного потенціалу вугільних підприємств застосована методика, заснована на методі аналізу ієрархій [338]. Всі показники, що характеризують виробничо-економічний стан вугільного підприємства, сформовані в три групи: техніко-технологічні, виробничо-економічні і фінансові. До першої групи включені: коефіцієнт використання діючої виробничої потужності, рівень концентрації гірничих робіт, рівень інтенсифікації очисних робіт, питома вага застосування стовпових систем розробки, ефективність гірничопрохідницьких робіт, рівень комплексної механізації, рівень проведення виробок прохідницькими комбайнами, питома протяжність гірських виробок. У другій групі об'єднані: собівартість видобутку, термін відпрацювання запасів, рівень витрат, фондвіддача, продуктивність праці робітника з видобування, трудомісткість виймання вугілля, коефіцієнт реалізації потреб інноваційного розвитку, коефіцієнт зносу обладнання. У третій групі – коефіцієнт фінансової незалежності, коефіцієнт фінансування, коефіцієнт покриття, коефіцієнт оборотності поточних активів, тривалість обороту поточних активів, оборотність дебіторської заборгованості, оборотність кредиторської заборгованості, рентабельність всього капіталу.

За третьою методикою [339] пропонується визначати коефіцієнт, нормалізований в інтервалі $[0, 1]$, який відображає рівень перспективності. Цей коефіцієнт може бути визначений на основі гірничо-геологічних, технологічних та економічних показників і розраховується виходячи з величини промислових

запасів шахти, її виробничої потужності, а також оптової ціни і собівартості вугільної продукції.

Виходячи з даних фінансової діяльності підприємства, визначається фінансовий стан шахт. Рекомендовані показники для оцінки фінансового стану підприємств (платоспроможність, рентабельність, вартість основних фондів, динаміку кредиторсько-дебіторської заборгованості, залежність від структурних змін в економіці і галузі, обсяги балансових запасів тощо) розглядаються в роботі [340], та з врахуванням часових лагів в роботі [341]. У роботі [342] пропонується методика групування шахт на основі рейтингової оцінки за сукупністю факторів, які впливають на загальний рівень техніко-економічних показників шахти та прийнятті рішення про подальшу експлуатацію.

Для більш повної порівняльної характеристики шахт в роботі [343] рекомендовано спільне використання коефіцієнтів економічної надійності і загальної характеристики шахти та запропоновано порядок визначення інвестиційної привабливості шахт: спочатку визначаються коефіцієнти загальної характеристики і встановлюється ранг шахти в порядку зростання коефіцієнтів, потім для шахт, що залишилися, розраховується коефіцієнт економічної надійності з остаточним вибором шахт, які представляють найбільший інтерес для інвестора.

Розглянуті методи визначення перспективності вугільних підприємств вимагають великої кількості геологічних, технологічних, економічних та інших даних, які неможливо отримати в умовах воєнного часу.

У зв'язку з цим актуальним є створення методики ранжування вугільних шахт за перспективністю з використанням системи доступних для широкого загалу обсягових, технологічних, фінансово-економічних, безпекових, екологічних та соціальних критеріїв функціонування підприємств вугільної промисловості.

1. *Обсяговий чинник.* Коефіцієнт використання встановленої потужності K_1 враховує взаємозв'язок між технологічними факторами та величиною встановленої виробничої потужності шахти:

$$K_1 = \left(\frac{V_i}{W_i} \right) / \left(\frac{V_i}{W_i} \right)^{\max},$$

де V_i – фактичний обсяг видобутку i -ої шахти, тис. т/рік; W_i – встановлена виробнича потужність i -ої шахти, тис. т/рік.

2. *Технологічний чинник.* Базуючись на доступній базі даних, для порівняння технологічних параметрів окремих підприємств був використаний коефіцієнт K_2 , який ілюструє технологічний рівень даного підприємства:

$$K_2 = \left(\frac{V_{n_i}}{V_i} \right) / \left(\frac{V_{n_i}}{V_i} \right)^{\max},$$

де V_{n_i} – фактичний обсяг видобутку i -ої шахти з використанням сучасних технологій, тис. т/рік.

3. *Фінансово-економічний чинник.* При розгляді питання визначення перспективності шахт в ринкових умовах та при визначенні залежності зростання виробничої потужності від капітальних вкладень в якості економічного чиннику приймемо собівартість готової вугільної продукції.

$$K_3 = \frac{S_i^{\min}}{S_i},$$

де S_i – собівартість 1 т готової вугільної продукції i -ої шахти, грн.; S_i^{\min} – мінімальна собівартість 1 т готової вугільної продукції з вибірки шахт, грн.

4. *Безпековий чинник.* Коефіцієнт безпеки виробництва K_4 характеризується ступенем небезпеки шахт за раптовими викидами газу

$$K_4 = \frac{1}{B_i},$$

де B_i – категорія i -ої шахти за раптовими викидами вугілля і газу.

5. *Соціальний чинник.* Запропоновано визначити коефіцієнт соціального навантаження K_5 таким чином, щоб забезпечити робочі місця для працівників галузі. Визначимо цей параметр за формулою

$$K_5 = \left(\frac{N_i}{M_i} \right) / \left(\frac{N_i}{M_i} \right)^{\max},$$

де N_i – чисельність працівників i -ої шахти, чол.; M_i – чисельність жителів громади, де розташована i -та шахта, чол.

6. *Екологічний чинник.* За основу для розрахунку коефіцієнту екологічної прийнятності K_6 беруться значення питомих викидів метану.

$$K_6 = \frac{Q_i^{\min}}{Q_i},$$

де Q_i – питоми викиди метану на 1 тонну видобутку на i -ій шахті, м³/т; Q_i^{\min} – мінімальні викиди метану на 1 тонну видобутку з вибірки шахт, грн.

Таким чином, перспективність шахт України пропонується визначати за безрозмірним інтегральним коефіцієнтом перспективності R_i за формулою:

$$R_i = \sum_{j=1}^m (K_{i,j} \cdot a_j),$$

де m – кількість чинників функціонування вуглевидобувних підприємств; $K_{i,j}$ – j -ий чинник i -ої шахти; a_j – безрозмірний коефіцієнт значимості j -го одиничного чинника функціонування вуглевидобувних підприємств (прийнято: $a_1 = 0,20$; $a_2 = 0,22$; $a_3 = 0,18$; $a_4 = 0,10$; $a_5 = 0,14$; $a_6 = 0,16$).

Результати розрахунків рейтингів українських шахт наведено в таблиці.

Таблиця. Рейтинг шахт з видобутку енергетичного вугілля

Шахта	Коефіцієнти перспективності						Рейтинг R
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
Степова	0,882	1,000	0,729	1,000	0,994	0,084	0,780
Західно-Донбаська	0,802	1,000	0,760	1,000	1,000	0,090	0,772
Ювілейна	0,823	1,000	0,668	1,000	0,971	0,187	0,771
Дніпровська	0,809	1,000	0,692	1,000	0,902	0,204	0,765
Тернівська	0,891	1,000	0,655	1,000	0,866	0,133	0,759
Самарська	0,795	1,000	0,667	1,000	0,776	0,146	0,731
ім. М.І. Сташкова	0,595	1,000	0,566	1,000	0,922	0,299	0,718

Продовження таблиці

Добропільська	1,000	1,000	0,626	1,000	0,219	0,161	0,689
Павлоградська	0,807	1,000	0,801	1,000	0,237	0,152	0,683
Новодонецька	0,650	1,000	0,552	1,000	0,195	0,148	0,600
ім. Героїв Космосу	0,430	1,000	0,671	1,000	0,259	0,107	0,580
Алмазна	0,580	1,000	0,544	1,000	0,138	0,057	0,562
Білозірська	0,528	1,000	0,527	1,000	0,153	0,057	0,551
Лісова	0,714	1,000	0,324	1,000	0,091	0,050	0,542
Межирічанська	0,536	1,000	0,312	1,000	0,128	0,050	0,509
Відродження	0,514	1,000	0,325	1,000	0,094	0,050	0,503
Червоноградська	0,476	1,000	0,319	1,000	0,127	0,050	0,498
Капітальна	0,355	1,000	0,393	0,500	0,383	0,100	0,482
Степова	0,381	1,000	0,332	1,000	0,102	0,050	0,478
Піонер	0,095	1,000	0,238	1,000	0,084	0,111	0,411
Бужанська	0,146	0,340	0,174	1,000	0,107	1,000	0,410
Котляревська	0,043	1,000	0,140	1,000	0,212	0,100	0,399
Курахівська	0,062	0,390	0,130	1,000	0,117	1,000	0,398
Україна	0,125	0,570	0,204	1,000	0,154	0,400	0,373
№ 9 Нововолинська	0,151	0,160	0,157	1,000	0,096	1,000	0,367
№ 1/3 Новоградівська	0,259	0,290	0,342	1,000	0,289	0,167	0,344
5/6	0,137	0,100	0,143	1,000	0,091	0,100	0,204
Центральна	0,069	0,100	0,113	1,000	0,098	0,100	0,186

При визначенні перспективності шахт вважається, що більш кращі вугільні підприємства мають вищий коефіцієнт перспективності R_i .

До найбільш перспективних належать приватні шахти, рейтинг яких знаходиться в діапазоні 0,78–0,55. Далі йдуть шахти ДП «Львіввугілля» з рейтингом 0,54–0,48. Шахти ДП «Селидіввугілля» та ДП «Волиньвугілля» мають рейтинги в діапазоні 0,41–0,34. Найнижчий рейтинг (менше 0,3) мають шахти ДП «Мирноградвугілля».

8.2 Reduction of investments in heating systems when choosing a low-temperature network schedule as the dominant one

At the current stage of human thought, when society is beginning to realize that there is a problem of growing shortage of natural energy resources, and their prices are rising rapidly and will continue to rise, the introduction of energy-saving heat generation technologies and the use of unconventional and renewable energy sources is becoming not only popular but also a vital solution that directly resonates with the direct threat of global environmental collapse.

Having drawn conclusions from the consequences of energy crises, the governments of most developed countries prepared their economies in advance for existence in the era of scarce oil and gas reserves. For example, according to [344], in Sweden, energy saving issues have been widely implemented since the 1970 oil energy crisis, and in 43 years the country has managed to significantly reduce the dependence of the energy sector on organic and nuclear fuels. Thus, while in 1970 more than 80 % of thermal energy in Sweden was produced from fossil hydrocarbon fuels, by 2012, as a result of the introduction of energy-saving technologies and the transition to non-traditional energy sources, this share had dropped to 32 %. And by 2020, according to the Minister of Energy [344], the combustion of gas, coal and liquid fuels will be completely excluded from the processes of generating heat for municipal needs in the country's heating and hot water supply systems. One of the ways to achieve such results is the large-scale introduction of heat pump technologies and low-temperature heating systems [345 – 347, 349].

A modern low-temperature heating system is special because its heat transfer medium usually heats up to 50 to 55 °C (for example, at a temperature of -22 °C outside the window). But in high-temperature systems, the temperature of the coolant reaches 80 °C.

Low-temperature heating is the basis of heating design in almost all countries. Its evolution can be traced back to 2014, when traditional gas boilers in Europe gave way to condensing boilers, and those, in turn, to air-to-water heat pumps. The latter are

capable of generating 3.5 kW of heat from 1 kW of electricity, which is twice as efficient as condensing boilers.

Thanks to low-temperature heating, the house will always have the most comfortable microclimate with minimal energy consumption.

Current trends in the energy market dictate strict energy saving conditions, in particular, the use of low-temperature heating. Condensing technology, which has become widely used in the 21st century, meets these conditions. Since natural gas on average consists of 95% methane, let's consider the process of gas combustion based on methane oxidation:



During the combustion of natural gas, a certain amount of heat is released with the formation of water vapor, and its condensation makes it possible to use the latent heat of vaporization. In other words, condensing technology is characterized by the use of the higher calorific value of fuel.

The effect of using condensing technology can be most clearly demonstrated using heat balance diagrams of traditional (Fig. 1) and condensing boilers (Fig. 2) [350].

From Fig. 1 and Fig. 2 shows that the use of condensing technology makes it possible to reduce heat losses with flue gases from 17 % to 5 %, i.e. more than three times. The heat balances are given taking into account the heat of water vapor, i.e., the higher heat of combustion. If we use the traditional calculation method, the efficiency of condensing equipment will reach 108 %, and that of traditional boilers – 90 – 93 %. This means that condensing equipment is much more economical than traditional boilers.

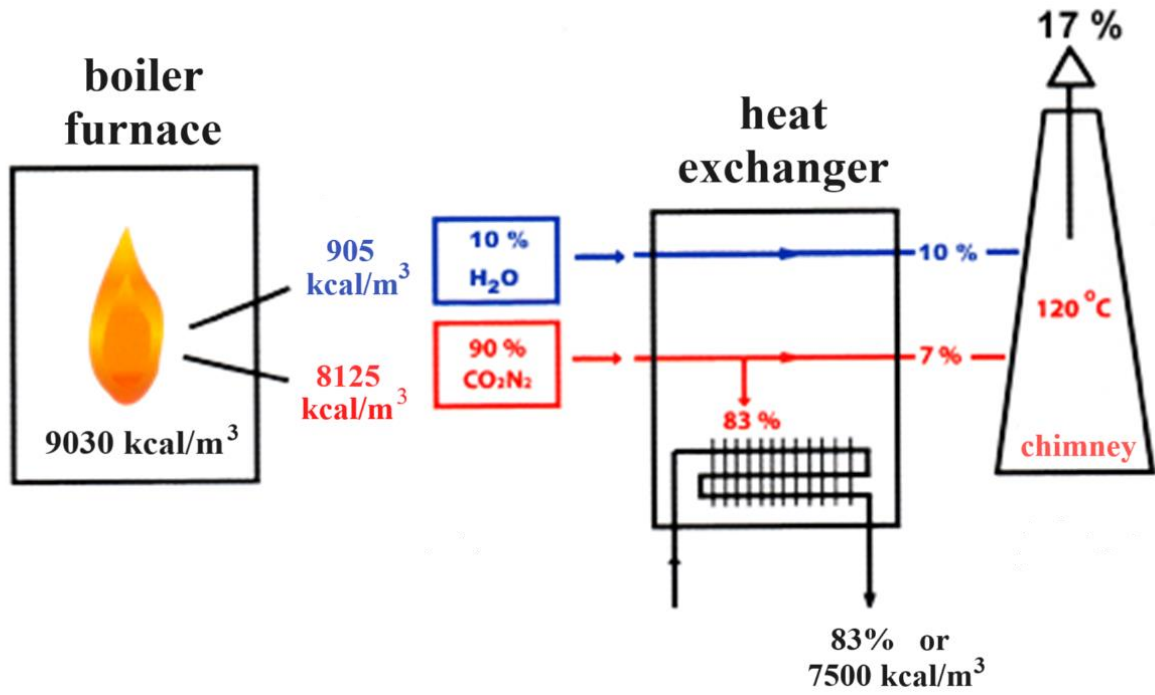


Fig. 1. Heat balance diagram of a traditional boiler

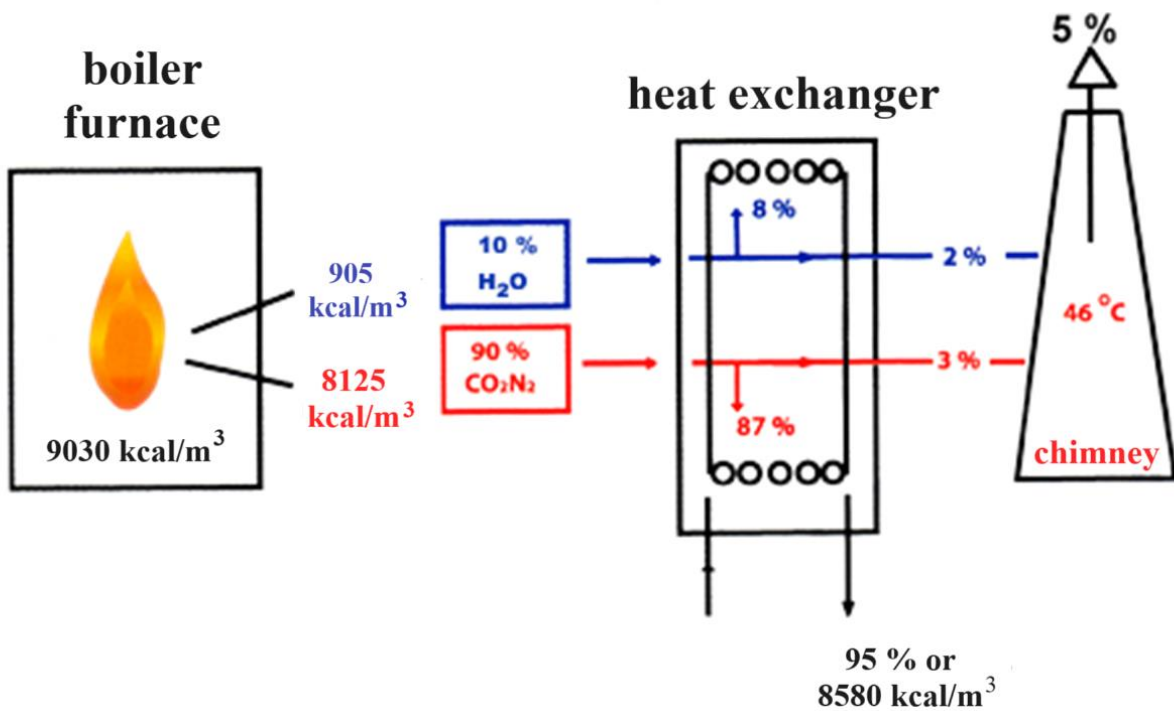


Fig. 2. Heat balance diagram of a condensing boiler

The peculiarity of condensing boilers (Fig. 3) is that they use energy from the condensation of flue gas moisture, which is not used in other types of boilers. Thanks to a special heat exchanger with a large surface area, condensed water vapor gives off its heat to the heating medium of the heating system. This makes it possible to more fully utilize gas energy and reduces harmful emissions, especially nitrogen oxides [347]. The flue gas temperature is below 100°C.

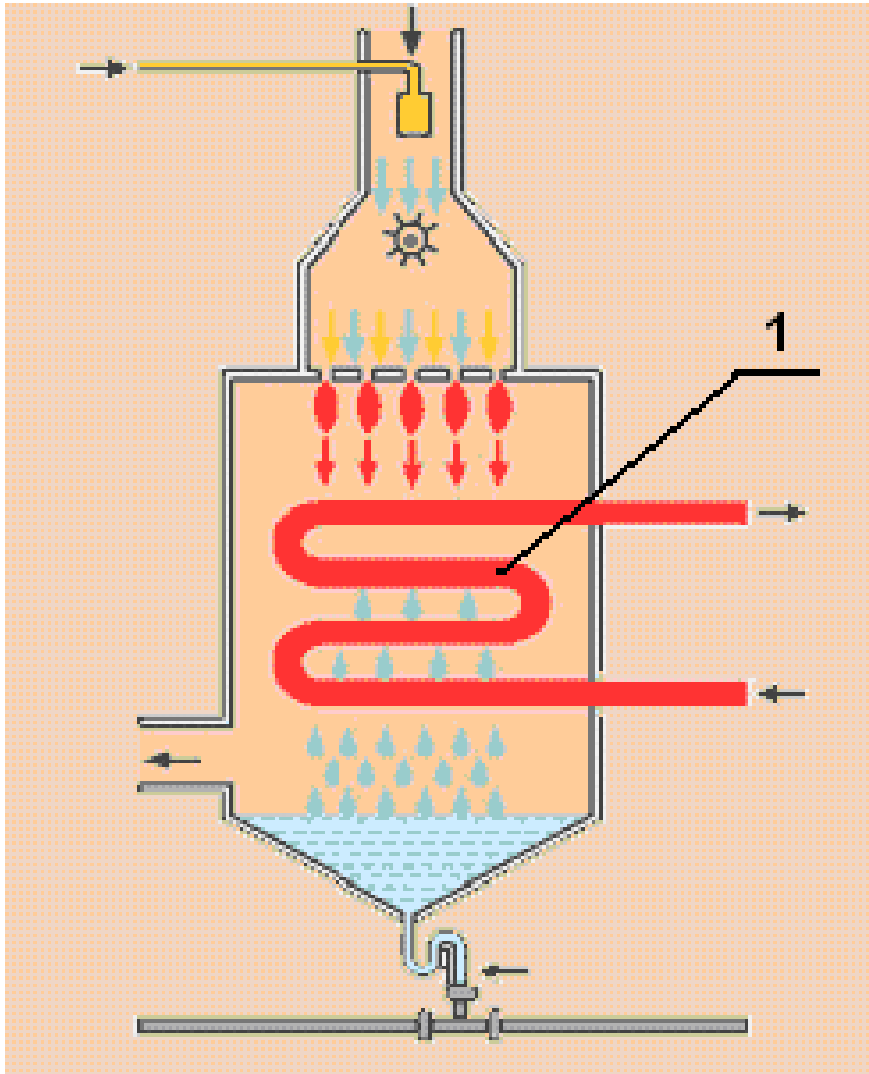


Fig. 3. Scheme of a condensing boiler

Water vapor is condensed using the return water from the heating system. This means that condensation efficiency depends heavily on the return water temperature. The lower it is, the more efficiently the equipment operates. This results in the

following advantage of condensing technology: such equipment is perfectly adapted for use in low-temperature heating systems.

Another important advantage of condensing boilers is the low emission of pollutants, primarily nitrogen oxides. This is achieved through the action of two main factors: precise dosing of air in the fuel mixture (which is necessary for efficient condensation) and lowering the temperature in the burner flame core (due to the special design of the burner).

If necessary, condensing boilers can be connected in a cascade - up to 3 or 5 in a cascade, depending on the additional automation used. Such a cascade will operate in a weather-dependent mode. All condensing boilers are equipped with a closed combustion chamber and are connected to a special coaxial chimney.

From the point of view of the technological features of this technique, in order to obtain the desired condensation phenomenon, the heat carrier should have a temperature of approximately 60 °C. It is at this temperature that water vapor condenses on the walls of the primary heat exchanger 1 (Fig. 3), on the side of the exhaust gases [346]. That is, the temperatures of the heating system heat carriers should be as close as possible to the 60/40 °C schedule, provided the air temperature in the heated room is 20 °C. An effective choice of radiators for this system operation mode will make it possible to reduce capital investments when designing heating systems.

In practice, when designing heating systems, the calculation using the «cold five-day» temperature is widely used. Therefore, we will perform such a calculation, which is applicable to all types of existing boilers, but in view of energy efficiency, we will focus on a condensing boiler and a temperature regime of 60/40 °C, as such, at which it operates with maximum efficiency.

Let's take a house with a total area of $S = 300 \text{ m}^2$ as an example. The temperature of the «cold five-day period» for the city of Lviv is $t_{\text{outside}} = -20 \text{ °C}$. The existing SNiP [349] regulates its acceptance equal to -19 °C , but in order to have an additional power reserve of the designed system, the value of -20 °C is used.

The room temperature is assumed to be $t_{\text{room}} = 20 \text{ °C}$. For a well-insulated wall, the specific heat loss under these conditions will be $q = 0.075 \text{ kW/m}^2$ (this value is

calculated at an ambient temperature of 20 °C). This is the maximum calculated heat loss of the house to the environment:

$$Q_{\text{house}} = q \cdot S = 0.075 \cdot 300 = 22.5 \text{ kW} . \quad (1)$$

The required boiler capacity, taking into account a 15% margin, will be:

$$Q_{\text{boiler}} = Q_{\text{house}} \cdot 1.15 = 22.5 \cdot 1.15 = 25.9 \text{ kW} . \quad (2)$$

To simplify the calculation, let's assume that $n = 18$ identical radiators are to be installed. We also assume a 10 % power reserve for each radiator, given the potential use of thermostatic devices [348]. That is, the power of one radiator will be:

$$Q_{\text{rad}} = \frac{Q_{\text{house}} \cdot 1.1}{n} = \frac{22.5 \cdot 1.1}{18} = 1.4 \text{ kW} . \quad (3)$$

Using the Kermi technical data sheet [347] for Profil-X2 radiators, we obtain the following distribution of radiators for different temperature graphs, under the given calculation conditions (Table 1 - the power is listed in brackets according to the passport data).

Table 1.

No	The temperature graph, °C	Power conversion ratio k_{pass}	Radiator size
1	75/55	1.17	K22-600-900 (1.64 kW)
2	60/40	2.03	K22-600-1600 (2.842 kW)
3	50/30	3.7	K22-600-3000 (5.18 kW)

That is, the choice of radiators, applying the conditions for calculating the «cold five-day period» for temperature conditions up to 60/40 °C (at which the maximum efficiency of a condensing boiler is observed), entails an increase in the size of radiators, namely an increase in the capital costs of the designed heating system. So, you need to take into account that the outside air temperature is constantly fluctuating during the heating season. However, when calculating the boiler, this will lead to a lack

of heat output and the need to install a peak hot water boiler. Such a scheme is possible when using a main boiler, say, a solid fuel boiler, and a peak boiler, say, a gas boiler. However, this also significantly increases the capital investment, and this calculation aims to reduce it.

The aim of the work is to reduce the capital cost of purchasing radiators when designing heating systems by reducing their size without losing heat output during the «cold five-day period» and optimizing their use at average monthly temperatures on a low-temperature heat transfer schedule.

There is an option to take into account the fluctuating temperature processes of the outside air when calculating the radiators of the heating system, in order to reduce the purchase costs when selecting them for a low-temperature schedule. The main factor in the calculation of a single-boiler system – the «cold five-day period» - is left unchanged and taken from the previous calculation (1), (2), i.e. it should be emphasized that the total heat output of the boiler unit is calculated for a temperature of $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Let's dwell on this step: the boiler is matched to the temperature of the «cold five-day period», according to the existing SNiP. This means that its capacity is enough to cover the heat losses of the house. Next, it is proposed to calculate the radiators relative to the average temperature of the coldest month, as the dominant temperature during the heating season, for a temperature schedule of up to $60/40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The average annual temperature distribution for the city of Lviv is as follows (Table 2) [348]:

Table 2

Months	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yearly
The average temperature	-4.6	-3.1	1.1	7.7	13.2	16.1	17.3	16.8	13.0	8.0	2.5	-2.1	7.2

That is, the average temperature of the coldest month is $t_{\text{average}} = -4.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. We propose to introduce a temperature load factor for radiators that will take into account the transition from $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-4.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ as the most likely temperature:

$$k_{\text{rad}} = \frac{(t_{\text{room}} - t_{\text{average}})}{(t_{\text{room}} - t_{\text{outside}})} = \frac{(20 - (-4.6))}{(20 - (-20))} = 0.62. \quad (4)$$

We recalculate the unit power of the radiator under these conditions (we leave the output power from the previous calculation):

$$Q'_{\text{rad}} = Q_{\text{rad}} \cdot k_{\text{rad}} = 1.4 \cdot 0.62 = 0.87 \text{ kW}. \quad (5)$$

For a given power, we get the following distribution of radiators (Table 3).

Table 3

No	The temperature graph, $^{\circ}\text{C}$	Power conversion ratio k_{pass}	Radiator size
1	60/40	2.03	K22-600-1000 (1.77 kW)
2	50/30	3.7	K22-600-1800 (3.23 kW)

We analyze the data from Table 1 and Table 3:

1. The radiators (Table 3) for the temperature schedule of $60/40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and $50/30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ are smaller in size compared to (Table 1), and this is the schedule we are interested in as the one at which the condensing boiler has the highest efficiency;

2. If the ambient temperature is likely to drop to $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, the radiators (Table 3) are of sufficient size to fully meet the heat demand during the transition to the $75/55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperature schedule (compared to radiator No. 1 in Table 1).

It should be emphasized that the reduction in the size of the radiators occurred when the temperature load factor of the radiators, which takes into account the transition from $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-4.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ as the most likely temperature, was introduced into the power calculation.

Additionally, we check the correctness of the judgment about heat supply at -20 °C. In order to remove the bindings to specific numbers, we enter the value of the heat loss of the room under the conditions of the «cold five-day period» for which the radiator is selected, Q_{rad} .

Then, for a 75/55°C schedule, the power for which the radiator size is selected will be equal:

$$Q'_{\text{rad}} = Q_{\text{rad}} \cdot k_{\text{pass}} = 1.17 \cdot Q_{\text{rad}} . \quad (6)$$

And for the proposed calculation with a temperature load factor for a temperature of -4.6 °C and a 60/40 °C schedule:

$$Q''_{\text{rad}} = Q_{\text{rad}} \cdot k_{\text{pass}} \cdot k_{\text{rad}} = Q_{\text{rad}} \cdot 2.03 \cdot 0.62 = 1.26 \cdot Q_{\text{rad}} . \quad (7)$$

That is: $Q''_{\text{rad}}/Q'_{\text{rad}} = 1.26/1.17 = 1.077$ – a radiator with the power selected according to the proposed calculation, when switching from a 60/40 °C schedule to a 75/55 °C schedule, has a sufficient margin for full heating of the room.

To summarize, it should be added that the price (as of 2023.11.01) of the K22-600-1600 radiator (Table 1) is approximately 330 euros, and the K22-600-1000 (Table 3) is 230 euros. Only one radiator can reduce capital costs by 100 euros.

For the convenience of calculating the power of radiators when using Excel spreadsheets, it is proposed to introduce an additional coefficient that will not only take into account the power conversion factor according to the radiator manufacturer's passport, but also the power coefficient of radiators at the average monthly temperature of the coldest month. For the city of Lviv, with a temperature schedule of 60/40 °C, the coefficient will look like this:

$$k = k_{\text{rad}} \cdot k_{\text{pass}} = 0.62 \cdot 2.03 = 1.26 . \quad (8)$$

Conclusion. The considered methodology makes it possible to reduce capital costs in the design of heating systems in terms of reducing the size of radiators without changing the heat output of the boiler. Under the conditions of the «cold five-day period», the radiators cover the required heat demand during the transition to the 75/55 °C schedule.

SECTION 9. PLANT GROWING

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.9.1

9.1 Вплив агробіологічних заходів на формування врожайності та якості продукції зернових культур

Одним із найважливіших завдань агропромислового комплексу України є суттєве збільшення і стабілізація виробництва зерна. Зміна клімату, погіршення екологічної ситуації зумовлюють необхідність визначення можливості протистояти цим явищам. Тобто проблема вирощування екологічно безпечної сільськогосподарської рослинної продукції разом з підвищенням врожайності набула значної актуальності [352–354].

Вирішення цієї проблеми можливе шляхом розробки нових та удосконалення існуючих елементів технологій вирощування зернових культур, в тому числі й за рахунок застосування біологічних препаратів, мікродобрив та мікробіологічних препаратів, які здатні регулювати процеси життєдіяльності рослин та ґрунтової мікрофлори [355–359].

Величезна кількість наукових праць, опублікованих на основі аналізу результатів експериментальних даних, отриманих вченими у різних науково-дослідних установах, навчальних закладах рослинницького профілю, а також передовий виробничий досвід свідчать про наявність невикористаних резервів для подальшого збільшення виробництва зерна ячменю ярого. До екологічно безпечних засобів технологій вирощування зернових колосових культур належить використання біологічних препаратів, які застосовуються як при обробці насіння, так і при догляді за посівами. Це дозволяє не тільки зберегти високу продуктивність, але й сприяє підвищенню якісних показників зерна [360–363].

З огляду на це розробка заходів, спрямованих на отримання високоякісної сільськогосподарської продукції, яка відповідає санітарно-гігієнічним і екологічним нормам в умовах всезростаючого техногенного пресингу на навколишнє середовище має велике практичне значення для АПК Донецького

регіону.

Метою досліджень було вивчення дії мікробних препаратів та регуляторів росту на біометричні показники та врожайність пшениці озимої та ячменю ярого на фоні мінерального та органічного живлення.

Дослідження виконувались у польовій сівозміні Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН. Повторність у дослідах 3-кратна. Розміщення ділянок – систематичне. Площа облікової ділянки становила 40 м².

Ґрунт – чорнозем звичайний мало гумусний важкосуглинковий. Вміст гумусу в орному шарі становить 4,5 %. Валовий вміст основних поживних речовин: N – 0,28-0,31 %, P₂O₅ – 0,16-0,18 %, K₂O – 1,8-2,0 %.

Технологія вирощування була загальноприйнятою для східної частини Північного Степу України, крім поставлених на вивчення питань та відповідає зональним і регіональним рекомендаціям.

Обробку результатів проводили за методологією та організацією наукових досліджень [364]. Методи дослідження: польовий, лабораторний, математично-статистичний.

Урожайність пшениці озимої залежно від варіантів досліду була наступною (табл. 1). На мінеральному фоні живлення, забезпечивши прибавку 0,9 т/га або 22,5 %, кращими виявилися варіанти із застосування Мікрогуміну для обробки насіння та Біоритму для обприскування посівів у фазу кущіння, а також Байкалу для обробки насіння та Екостимулу для обприскування посівів, з урожайністю 4,9 т/га. Найгіршими виявилися варіанти, де проводилось лише обприскування посівів у фазу кущіння без використання інокулянтів.

Органічний фон живлення продемонстрував подібну залежність, як і мінеральний. Кращим виявилось застосування Мікрогуміну для обробки насіння та Екостимулу для обприскування посівів у фазу кущіння з урожайністю 4,4 т/га або 15,8 % до контролю.

Таблиця 1.

Урожайність зерна пшениці озимої, 2021-2023 рр.

Варіант дослідю	Урожайність, т/га				Прибавка	
	2021 р.	2022 р.	2023 р.	Серед.	т/га	%
Фон живлення N ₃₀ P ₃₀						
Контроль	3,9	3,4	4,7	4,0	-	-
Мікрогумін (обробка насіння)	4,7	3,6	5,5	4,6	0,6	15,0
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	5,2	3,7	5,6	4,8	0,8	20,0
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,5	4,5	5,6	4,9	0,9	22,5
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,0	4,0	5,4	4,5	0,5	12,5
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,1	4,1	5,5	4,6	0,6	15,0
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	5,0	4,0	5,6	4,9	0,9	22,5
Байкал (фаза кущіння)	4,4	3,7	4,9	4,3	0,3	7,5
Біоритм (фаза кущіння)	4,7	3,6	5,5	4,6	0,6	15,0
Екостимул (фаза кущіння)	4,0	3,6	5,4	4,3	0,3	7,5
Фон живлення Біогумус – 1000 кг/га						
Контроль	3,3	3,0	5,0	3,8	-	-
Мікрогумін (обробка насіння)	3,6	3,1	5,0	3,9	0,1	2,6
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	3,9	3,2	5,3	4,1	0,3	7,9
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,2	3,4	5,2	4,3	0,5	13,2
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,3	3,5	5,5	4,4	0,6	15,8
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,1	3,3	5,3	4,2	0,4	10,5

Продовження таблиці 1

Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,0	3,2	5,2	4,1	0,3	7,9
Байкал (фаза кущіння)	3,7	3,0	5,0	3,9	0,1	2,6
Біоритм (фаза кущіння)	3,8	2,9	5,1	3,9	0,1	2,6
Екостимул (фаза кущіння)	3,7	2,8	4,9	3,8	0	0

Обприскування посівів препаратами у фазу кущіння без обробки насіння не мало ефекту, сформувавши врожайність зерна пшениці озимої на рівні з контрольним варіантом.

В середньому за роки проведення досліджень найбільший вплив на продуктивність рослин мали регулятори росту на мінеральному фоні живлення. Проте, в 2023 р., який характеризувався, як надмірно вологий, врожайність зерна пшениці озимої на органічному фоні живлення майже не поступалася мінеральному фону.

Найбільш істотний прояв ефективності запропонованих варіантів відбився на врожайності зерна ячменю ярого (табл. 2).

Таблиця 2.

Урожайність зерна ячменю ярого, 2021-2023 р.

Варіант дослідю	Урожайність, т/га				Прибавка	
	2021 р.	2022 р.	2023 р.	Серед.	т/га	%
Фон живлення N ₃₀ P ₃₀						
Контроль	3,4	2,5	4,8	3,6	-	-
Мікрогумін (обробка насіння)	4,5	3,3	5,3	4,4	0,8	22,2
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	4,4	3,6	5,6	4,5	0,9	25,0
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	3,8	3,2	5,2	4,1	0,5	13,9
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	3,9	2,8	4,8	3,8	0,2	5,6

Продовження таблиці 2

Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	3,9	2,9	4,9	3,9	0,3	8,3
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,1	3,5	5,5	4,4	0,8	22,2
Байкал (фаза кущіння)	4,1	3,1	5,1	4,1	0,5	13,9
Біоритм (фаза кущіння)	4,1	3,3	5,3	4,2	0,6	16,7
Екостимул (фаза кущіння)	3,6	2,8	4,8	3,7	0,1	2,8
Фон живлення Біогумус – 1000 кг/га						
Контроль	3,1	2,0	4,2	3,1	-	-
Мікрогумін (обробка насіння)	3,7	2,5	4,5	3,6	0,5	16,1
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	3,7	2,7	4,7	3,7	0,6	19,4
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,1	2,9	4,9	4,0	0,9	29,0
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	3,6	3,0	4,9	3,8	0,7	22,6
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	3,7	2,9	4,9	3,8	0,7	22,6
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	3,9	2,8	4,8	3,8	0,7	22,6
Байкал (фаза кущіння)	3,5	2,6	4,6	3,7	0,6	19,4
Біоритм (фаза кущіння)	3,5	2,7	4,7	3,6	0,5	16,1
Екостимул (фаза кущіння)	3,3	2,6	4,6	3,5	0,4	12,9

На мінеральному фоні живлення найвищий показник продуктивності рослин забезпечив варіант з інокуляцією насіння сумішшю препаратів Мікрогумін та Байкал – 4,5 т/га (прибавка склала 0,9 т/га або 25,0 % до контролю). Серед варіантів, де проводилась лише обробка посівів у фазі кущіння виділився варіант з використанням препарату Біоритм забезпечивши врожайність 4,2 т/га.

На органічному фоні живлення найвища врожайність зерна була отримана при інокуляції насіння препаратом Мікрогумін та обприскуванні посівів

препаратом Біоритм – 4,0 т/га (прибавка склала 0,9 т/га або 29,0 % до контролю).

Порівняння двох фонів живлення демонструє перевагу мінерального фону, який забезпечив зростання рівня врожайності порівняно з органічним. Проте, ефективність препаратів, що вивчалась більше розкрилась на органічному фоні живлення.

Важливе значення в агротехніці вирощування зернових культур має не тільки зернова продуктивність рослин, але і її якість. Якість зерна, перш за все, залежить від ґрунтового-кліматичних умов і біологічних особливостей сорту. Проте, як відзначає багато дослідників, на якість зерна можна впливати цілим рядом агротехнічних прийомів, особливо підбором регуляторів росту і режиму живлення.

Погодні умови, які склалися в роки досліджень за вологозабезпеченням були сприятливими для розвитку генеративних органів зернових культур, та, як наслідок, мали суттєвий вплив на показники якості зерна.

На мінеральному фоні живлення, не залежно від варіанту, рослини ячменю ярого відзначились формуванням показнику натуре зерна, який істотно переважав відповідний показник на органічному фоні живлення (табл. 3). Так, на контрольних варіантах підвищення даного показнику було на 33,4 г/л. Найвищі показники натуре зерна залежно від фонів живлення були отримані при використанні препарату Мікрогумін для обробки насіння та препарату Байкал у фізі кушіння 658,0 г/л (мінеральний фон живлення) та при обробці насіння препаратом Байкал сумісно з обприскуванням посівів у фазі кушіння препаратом Екостимул – 628,6 г/л (органічний фон живлення).

Таблиця 3.

Показники якості зерна ячменю ярого, 2021-2023 рр.

Варіант досліджу	Натура, г/л	Показники якості зерна, %	
		протеїн	білок
Фон живлення N ₃₀ P ₃₀			
Контроль	654,2	10,91	10,03
Мікрогумін (обробка насіння)	657,2	11,35	10,43

Продовження таблиці 3

Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	658,0	11,47	10,55
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	657,9	11,53	10,60
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	656,3	11,47	10,55
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	657,0	11,53	10,60
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	657,4	11,16	10,26
Байкал (фаза кущіння)	655,2	11,22	10,32
Біоритм (фаза кущіння)	655,5	11,41	10,49
Екостимул (фаза кущіння)	655,0	11,22	10,32
НІР _{0,5}	0,7	0,12	0,14
Фон живлення Біогумус – 1000 кг/га			
Контроль	620,8	10,29	9,46
Мікрогумін (обробка насіння)	624,3	10,91	10,03
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	622,9	11,04	10,15
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	623,9	10,66	9,80
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	622,3	10,85	9,98
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	620,5	10,42	9,58
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	628,6	10,54	9,69
Байкал (фаза кущіння)	623,5	10,48	9,63
Біоритм (фаза кущіння)	622,6	11,04	10,15
Екостимул (фаза кущіння)	623,9	10,97	10,09
НІР _{0,5}	2,2	0,10	0,11

Аналіз показників натури зерна за фонами живлення дозволяє зробити висновок, що за мінерального фону живлення найвищий вплив на цей показник

мали варіанти, де використовувались обробки насіння. В той же час, ця закономірність не простежується за органічного фону живлення, де варіювання показнику натури зерна було в межах помилки досліду. Тобто, мінеральний фон живлення має більш істотний вплив на показник натури зерна ячменю ярого.

Мінеральний фон живлення сприяв підвищенню вмісту протеїну та білку в зерні ячменю ярого сорту Бравий порівняно з органічним фоном живлення.

На варіантах, де використовували обробку насіння препаратом Мікрогумін з подальшим обприскуванням у фазу кущіння препаратом Біоритм та при обробці насіння препаратом Байкал у поєднанні з обприскуванням у фазу кущіння препаратом Біоритм був отриманий найвищий вміст в зерні протеїну (+ 0,62 % до контролю) та білку (+ 0,57 % до контролю).

Органічний фон живлення також сприяв підвищенню показників якості зерна за всіма варіантами використання регуляторів росту, але найбільший вплив був отриманий при сумісній обробці насіння препаратами Мікрогумін та Байкал та використанні препарату Біоритм у фазі кущіння – 11,04 % протеїн та 10,15 % білок.

Щодо пшениці озимої (табл. 4), то фони живлення також істотно впливали на показники якості зерна. На відміну від ячменю ярого за використання мінерального фону живлення натура зерна знижувалась порівняно з органічним фоном. Це пояснюється тим, що за осінньо-весняний період органічні добрива мали більший період для мінералізації за рахунок роботи ґрунтової мікрофлори.

Найвищі показники натури (788,0 г/л) зерна на мінеральному фоні живлення забезпечували варіанти з використанням препарату Мікрогумін для обробки насіння разом з препаратом Біоритм для обприскування посівів у фазу кущіння, а також обробка насіння Байкалом та обприскування посівів Біоритмом. Прибавка порівняно з контролем склала 5,8 г/л.

За органічного фону живлення найвищу натуру зерна було сформовано на варіанті обробки насіння Мікрогуміном та обприскування посівів у фазу кущіння Біоритмом – 795,4 г/л, що на 10,3 г/л перевищує контрольний варіант.

Вміст білку в зерні пшениці озимої сорту Перемога, не залежно від фону

живлення та варіанту використання регуляторів росту, був на рівні 16,0 %. Істотного впливу на цей показник запропоновані варіанти не здійснювали, хоча і простежується незначне його підвищення порівняно з контрольним варіантом, але воно на рівні помилки досліджу.

Таблиця 4.

Показники якості зерна пшениці озимої, 2021-2023 рр.

Варіант досліджу	Натура зерна, г/л	Вміст у зерні, %		ІДК, од. пр.
		білка	клейковини	
Фон живлення N ₃₀ P ₃₀				
Контроль	782,2	16,0	35,1	75
Мікрогумін (обробка насіння)	785,1	16,3	36,4	80
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	785,3	16,1	36,2	85
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	788,0	16,0	36,7	85
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	787,2	15,9	36,3	85
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	788,0	16,2	36,5	90
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	786,3	16,0	36,3	85
Байкал (фаза кущіння)	785,1	16,0	36,2	80
Біоритм (фаза кущіння)	787,0	16,0	36,2	85
Екостимул (фаза кущіння)	787,1	15,9	36,3	80
НІР _{0,5}	2,1	0,2	0,6	2,0
Фон живлення Біогумус – 1000 кг/га				
Контроль	785,1	15,9	34,6	70
Мікрогумін (обробка насіння)	790,0	15,9	35,1	70
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	792,1	15,8	35,3	75
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	795,4	16,0	35,8	75

Продовження таблиці 4

Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	794,2	16,1	35,6	75
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	790,1	16,0	36,0	80
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	789,5	16,0	35,8	75
Байкал (фаза кущіння)	788,2	15,9	35,5	70
Біоритм (фаза кущіння)	790,6	16,0	35,7	75
Екостимул (фаза кущіння)	789,2	16,0	35,5	75
НІР _{0,5}	2,7	0,2	0,5	2,0

Більш істотний вплив запропонованих варіантів простежується при визначенні відсотку вмісту клейковини у зерні. Так, за мінерального фону живлення, цей показник збільшувався порівняно з контролем від 1,1 % до 1,6 %, залежно від варіанту використання регуляторів росту.

За органічного фону живлення, відсоток клейковини збільшувався від 0,5 % (обробка насіння Мікрогуміном) до 1,4 % (обробка насіння Байкалом + обприскування посівів Біоритмом).

Для розрахунку основних показників ефективності вирощування ячменю ярого були використані прайс-листи на матеріали і продукцію, дані польового дослідження, технологічна карта (табл. 5).

Таблиця 5.

Економічна ефективність вирощування ячменю ярого при використанні мікробних препаратів та регуляторів росту

Варіант досліджу	Урожай-ть (середня) т/га	Виробничі витрати, грн/га	Собів-сть 1 т зерна, грн	Чистий дохід, грн/га	Прибуток, грн/га	Рентабельн ість, %
1	2	3	4	5	6	7
Фон живлення N ₃₀ P ₃₀						
Контроль	3,4	15500	4558,8	13600	-1900	-12,26
Мікрогумін (обробка насіння)	4,5	17450	3877,8	18000	550	3,15
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	4,4	17600	4000,0	17600	0	0,00
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	3,8	17650	4644,7	15200	-2450	-13,88
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	3,9	17800	4564,1	15600	-2200	-12,36
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	3,9	18350	4705,1	15600	-2750	-14,99
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,1	18850	4597,6	16400	-2450	-13,00
Байкал (фаза кущіння)	4,1	17380	4239,0	16400	-980	-5,64
Біоритм (фаза кущіння)	4,1	17600	4292,7	16400	-1200	-6,82
Екостимул (фаза кущіння)	3,6	17180	4772,2	14400	-2780	-16,18
Фон живлення Біогумус – 1000 кг/га						
Контроль	3,1	15500	5000,0	12400	-3100	-20,00
Мікрогумін (обробка насіння)	3,7	16250	4391,9	14800	-1450	-8,92

Продовження Таблиці 5.

Варіант дослідю	Урожай-ть (середня) т/га	Виробничі витрати, грн/га	Собів-сть 1 т зерна, грн	Чистий дохід, грн/га	Прибуток, грн/га	Рентабель- ність, %
1	2	3	4	5	6	7
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	3,7	16300	4405,4	14800	-1500	-9,20
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,1	16810	4100,0	16400	-410	-2,44
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	3,6	16900	4694,4	14400	-2500	-14,79
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	3,7	16350	4418,9	14800	-1550	-9,48
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	3,9	16850	4320,5	15600	-1250	-7,42
Байкал (фаза кущіння)	3,5	16050	4585,7	14000	-2050	-12,77
Біоритм (фаза кущіння)	3,5	16350	4671,4	14000	-2350	-14,37
Екостимул (фаза кущіння)	3,3	16100	4878,8	13200	-2900	-18,01

На фоні живлення $N_{30}P_{30}$ найбільша рентабельність була при використанні препаратів Мікрогумін (обробка насіння) – 3,15%, при урожайності 4,5 т/га. Чистий прибуток складає 550,00 грн/га. Виробничі витрати складають 17450,00 грн/га.

На фоні живлення Біогумус-1000 кг/га на всіх досліджуваних варіантах дослідю була збитковість, так як середня ціна реалізації на теперішній час складає 4000 грн/т без ПДВ, а виробничі витрати (особливо високі логістичні витрати на доставку зерна) значно перевищують цей показник. Найменша збитковість була

при варіанті Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння), яка склала -2,44%. Собівартість 1 т зерна на цьому варіанті склала 4100 грн/т, що на 18% менша за показник собівартості при варіанті контроль.

Економічна ефективність вирощування пшениці озимої наведена в табл. 6. На фоні живлення N₃₀P₃₀ найбільша рентабельність була при використанні препаратів Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння) – 11,05%, при урожайності 4,9 т/га. Чистий прибуток складає 1950,00 грн/га. Виробничі витрати складають 17650 грн/га.

Таблиця 6.

Економічна ефективність вирощування пшениці озимої при використанні
мікробних препаратів та регуляторів росту

Варіант досліджу	Урожай-ть (середня) т/га	Виробничі витрати, грн/га	Собів-сть 1 т зерна, грн	Чистий дохід, грн/га	Прибуток, грн/га	Рентабель- ність, %
1	2	3	4	5	6	7
Фон живлення N ₃₀ P ₃₀						
Контроль	4,0	15500	3875,0	16000	500	3,23
Мікрогумін (обробка насіння)	4,6	17450	3793,5	18400	950	5,44
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	4,8	17600	3666,7	19200	1600	9,09
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,9	17650	3602,0	19600	1950	11,05
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,5	17800	3955,6	18000	200	1,12
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,6	18350	3989,1	18400	50	0,27

Продовження таблиці 6

Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,9	18850	3846,9	19600	750	3,98
Байкал (фаза кущіння)	4,3	17380	4041,9	17200	-180	-1,04
Біоритм (фаза кущіння)	4,6	17600	3826,1	18400	800	4,55
Екостимул (фаза кущіння)	4,3	17180	3995,3	17200	20	0,12
Фон живлення Біогумус – 1000 кг/га						
Контроль	3,8	15500	4078,9	15200	-300	-1,94
Мікрогумін (обробка насіння)	3,9	16250	4166,7	15600	-650	-4,00
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	4,1	16300	3975,6	16400	100	0,61
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,3	16810	3909,3	17200	390	2,32
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,4	16900	3840,9	17600	700	4,14
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,2	16350	3892,9	16800	450	2,75
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,1	16850	4109,8	16400	-450	-2,67
Байкал (фаза кущіння)	3,9	16050	4115,4	15600	-450	-2,80
Біоритм (фаза кущіння)	3,9	16350	4192,3	15600	-750	-4,59
Екостимул (фаза кущіння)	3,8	16100	4236,8	15200	-900	-5,59

На фоні живлення Біогумус-1000 кг/га найбільша рентабельність була при використанні препаратів Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння), яка склала 4,14%, при урожайності 4,4 т/га. Прибуток був 700 грн/га, що на 64,10% менший ніж при використанні фону живлення $N_{30}P_{30}$.

Таким чином встановлено, що найкращі показники економічної ефективності були отримані фоні живлення $N_{30}P_{30}$ при вирощуванні ячменю ярого за використання препарату Мікрогумін (обробка насіння) (рентабельність була 3,15% при урожайності 4,5 т/га, а при вирощуванні пшениці озимої за використання препаратів Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння) (рентабельність була 11,05% при урожайності 4,9 т/га).

SECTION 10. TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.10.1

10.1 Технологія мусів з використанням крохмалю пшеничного

10.1.1 Сучасні тенденції виробництва солодких страв з піноподібною структурою

В умовах процесів глобалізації та інтеграції України до світової спільноти значене місце займає харчова промисловість, яка використовує світові тенденції та інноваційні технології у своїй діяльності. Це виявляється в активному впровадженні сучасних технологій харчових виробництв і як результат – отримання продукції відповідного рівня якості, її конкурентоспроможність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що пошук шляхів ефективного розвитку харчової промисловості України, усунення негативних тенденцій її функціонування турбують низку провідних вітчизняних учених, які відмічають низьке споживання білків, надмірне споживання жирів тваринного походження, дефіцит у раціоні складних вуглеводів, харчових волокон, мінеральних речовин і вітамінів. Саме тому науковці України та більшості країн світу звертають увагу на виробництво харчової продукції, яка здатна підтримувати здоров'я споживачів на належному рівні та задовольняти їх потреби.

Заклади ресторанного господарства (ЗРГ) та підприємства харчової промисловості (ХП) відіграють важливу роль у житті суспільства, задовольняючи потреби людства у харчуванні. Для підвищення рівня конкурентоспроможності вони повинні слідкувати за інноваціями та використовувати їх у своїй діяльності, щоб залишатись провідними у своїй сфері та бути попереду конкурентів. Якість продукції та обслуговування - не єдині чинники розвитку. На багатьох підприємствах накопичилося багато проблем – це низький технічний та технологічний рівень виробництва, недостатні темпи

оновлення основних засобів, висока енергоємність та матеріалоемність виробничих комплексів, використання застарілого обладнання та технологій, що впливає на ефективність їх роботи та стримує розвиток харчової промисловості.

Індустрія ЗРГ та підприємств ХП помітно змінилася останнім часом, тому для отримання високих прибутків та підтримання іміджу вони мають бути в тренді останніх інновацій, які зазвичай полегшують та покращують їх діяльність. Таким чином впровадження інновацій є запорукою оновлення підприємств, покращення їх конкурентних позицій. А інноваційна харчова продукція має бути високої якості та відповідати існуючим вимогам показників якості та безпеки, щоб користуватися широким попитом серед споживачів.

Моніторинг вітчизняних та іноземних джерел показав, що дослідження науковців спрямовані на раціональне використання природних ресурсів; зниження енергетичної цінності харчової продукції за рахунок застосування різних добавок; підвищення біологічної цінності; збільшення вмісту макро- та мікроелементів, селену, заліза, міді, а також вітамінів і харчових волокон.

Таким чином, сучасна стратегія харчової промисловості полягає в тому, щоб на основі фундаментальних, прикладних, пошукових досліджень та розробок, нових наукових ідей забезпечити перехід на якісно нові технологічні процеси виробництва харчової продукції і створення на їх основі нового покоління продукції масового, оздоровчого та профілактичного призначення, адаптованої до потреб споживача та ринкових умов.

Вищезазначене повною мірою стосується й солодкої десертної продукції, розвиток технологій якої знаходиться у площині запровадження індустріальних технологій для забезпечення бізнес-процесів Business to Business та Business to Customer. У широкому асортименті десертної продукції значну частку представлено десертами на основі молочної сировини – креми, морозиво, флани, панна котта, які виробляють підприємства харчової промисловості. Заклади ресторанного господарства пропонують споживачам обмежений їх асортимент, що спонукає виробників до запровадження конкурентоспроможних

ресурсозберігаючих технологій і сучасних інноваційних принципів створення харчової продукції.

Численні літературні дані свідчать, що інновації в обраному сегменті здійснюються в багатьох напрямках: застосування напівфабрикатів різного ступеня готовності, підвищення харчової і біологічної цінності, зниження калорійності, використання різноманітних структуроутворювачів, загущувачів, натуральних підсолоджувачів, цукрозамінників та ін..

На сьогоднішній день в Україні є актуальним розроблення і впровадження ресурсозберігаючих і безвідходних технологій переробки харчової продукції. Створено принципово нові технології інноваційної продукції з гелеподібною, піноподібною, емульсійною структурою, регульованого хімічного складу та з прогнозованими функціонально-технологічними властивостями, що виводить Україну на передові позиції виробництва харчової продукції XXI століття.

Слід зауважити, що сучасні принципи розробки високоякісної харчової продукції засновані на виборі та обґрунтуванні певних видів сировини у таких співвідношеннях, які б забезпечували прогнозовані якість, споживні й функціональні властивості та максимальну збалансованість харчових компонентів за хімічним складом готової продукції.

Аналіз ринку десертної продукції свідчить, що обсяги її виробництва за останні роки значно збільшилися, що обумовлено, в першу чергу, споживчим попитом. Дана тенденція проявляється у розширенні мереж спеціалізованих ЗРГ, які пропонують споживачам розширений асортимент солодких страв, як за рахунок оригінальних композиційних рішень, так і використання інноваційних технологій їх виробництва. Однак, слід зазначити, що солодкі страви з піноподібною структурою на основі плодово-ягідної сировини представлені, в основному, в ЗРГ, а харчова промисловість випускає збиті десерти переважно на молочній сировині або желе. Тому розширення сегменту солодких страв з піноподібною структурою є перспективним напрямом, який потребує подальших досліджень. А необхідність покращення споживних властивостей, підвищення конкурентоспроможності та забезпечення стабільних якісних показників

продукції потребує оптимізації складу та удосконалення вже існуючих технологій.

Проаналізувавши роботу ЗРГ можна зробити висновок, що до основних чинників, які стримують виробництво десертної продукції, відносяться трудоемність і тривалість технологічного процесу їх виробництва та підготовки рецептурних компонентів, нестабільні властивості сировини, нетривалі терміни зберігання та реалізації, відсутність індустріальних напівфабрикатів та ін..

З наведеної класифікації (мал. 1) видно, що рецептурні компоненти не тільки регулюють поживну цінність та формують органолептичні показники, а й виконують роль структуроутворювачів, тобто сприяють піноутворенню, згущуванню та гелеутворенню. Формування структури готової продукції відбувається за рахунок реалізації функціонально-технологічних властивостей як рецептурних компонентів, так і додатково внесених структуроутворювачів. Таким чином, обґрунтуванням для вибору сировини при виробництві солодких страв є функціонально-технологічні властивості та хімічний склад основної та допоміжної сировини, що забезпечують необхідну текстуру та дисперсні властивості готової продукції.

Як свідчать літературні дані, основу солодких страв з піноподібною структурою складає збита рецептурна суміш на основі плодово-ягідної / овочевої чи молочної сировини з вмістом повітряної фази в середньому від 30,0% до 45,0%, термодинамічно нестійка, схильна до саморуйнування.

Для утворення стійкої піни потрібна відповідна в'язкість рецептурної суміші і низький поверхневий натяг на межі розподілу фаз рідина – повітря. Традиційно для одержання збитої продукції зі стійкою піною використовують яєчний білок, низький поверхневий натяг якого зменшує товщину прошарку середовища між пухирцями з утворенням великої поверхні розділення. В той час як в'язкість суміші перешкоджає зниженню товщини прошарку, запобігаючи його розриву і коалесценції пухирців повітря.



Малюнок 1. Класифікація солодких страв

Стабільність білкової піни пояснюють структурно-механічними властивостями адсорбційних шарів і термодинамічною стійкістю рідких прошарків яєчного білка. Вони уповільнюють витікання рідини, знижуючи швидкість зменшення її товщини, що надає півці підвищеної в'язкості та міцності, створюючи пружний каркас, що забезпечує піні властивості твердого тіла.

Також традиційними компонентами, які формують структуру піноподібних страв, тобто сприяють піноутворенню та гелеутворенню, є желатин, манна крупа та пектин.

Перспективною сировиною у складі солодких страв з піноподібною структурою є поверхнево-активні речовини (ПАР), що мають низку переваг: стабільність під час зберігання, зручність у застосуванні, інертність до інших інгредієнтів, що входять до складу готової продукції, зниження собівартості. Їх застосовують, в основному, з метою забезпечення високої піноутворюючої здатності, тобто керованого протікання процесу піноутворення.

Обов'язковими компонентами при виробництві солодких страв з піноподібною структурою крім піноутворювачів, є стабілізатори. Використання цих речовин, особливості їх композицій, забезпечують високу збитість і стійкість структури, оскільки окрім стабілізуючої дії вони призводять до збільшення показників піноутворюючої здатності. З цією метою використовують камеді рослинного та мікробіологічного походження, а також карагінани, агар та ін. Вони зв'язують частину води в сумішах, збільшують їх в'язкість, підвищують здатність до збивання суміші, що призводить до покращення зберігання структури. Стабілізатори, залежно від їх ролі в стабілізації систем поділяються на вологозв'язуючі (желатин) і гелеутворюючі (рослинні камеді, борошно, пектин, карагінан).

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що на процес піноутворення солодких страв та їх стабілізацію безпосередньо впливає наявність піноутворювачів та стабілізаторів. Піноутворювачі володіють здатністю прискорювати формування піни та забезпечувати гомогенне розподілення пухирців газу в процесі інтенсивної обробки суміші, а також розподіляти та фіксувати їх в рідкій фазі. Слід відмітити, що формування піноподібною структурою солодких страв досягається за рахунок реалізації функціонально-технологічних властивостей функціональних інгредієнтів, в ролі яких можуть виступати як рецептурні компоненти, так і стабілізатори структури, що вводяться спеціально.

Формування якості готової продукції здійснюється на усіх етапах технологічного процесу її виробництва. При цьому багато технологічних

показників, які забезпечують створення високоякісної продукції, залежать від чинників технологічного процесу виробництва.

Технологічними чинниками, які впливають на піноутворення є: тривалість збивання, теплова обробка, гідромодуль, рН, якість сировини, внесення додаткових компонентів, характеристики устаткування та ін..

Одним із обов'язкових компонентів солодких страв є цукор, який виявляє виражені дегідратаційні властивості. Відомо, що цукор негативно впливає на поверхнево-активні речовини, зокрема, підвищує поверхневий натяг та зменшує міцність міжфазного адсорбційного шару. Однак він також виступає в ролі стабілізатора пінних систем за рахунок збільшення в'язкості водної фази та уповільнює рух бульбашок, що сприяє підвищенню показників стійкості піни.

Іншим важливим компонентом солодких страв з піноподібною структурою є лимонна кислота, яка сприяє покращенню піноутворюючої здатності та стійкості піни білкових систем, а також формує споживчі властивості готової продукції.

Параметри збивання рецептурної суміші визначають органолептичні показники готової продукції, а також стійкість піни, як результат одержання пін з різним дисперсним складом. На початку збивання в піні переважають бульбашки більшого розміру, збільшення тривалості збивання сприяє зменшенню розмірів дисперсної фази. Збільшення діаметру бульбашок повітряної дисперсної фази призводить до зниження стійкості пін та погіршення органолептичних показників продукції.

Теплова обробка також є важливим технологічним фактором в технології виробництва солодких страв з піноподібною структурою, яка спричиняє хімічні зміни в продуктах та сприяє засвоюваності їжі. Під час теплової обробки тваринні білки денатурують, крохмаль клейстеризується, знижується механічна міцність продуктів та утворюються нові смакові речовини.

Отже, технологічний процес виробництва солодких страв з піноподібною структурою, як правило, передбачає стабілізацію піни, яка досягається

введенням стабілізаторів чи окремих рецептурних компонентів – цукру, кислоти, дією низьких температур.

Таким чином і рецептурні компоненти, і технологічні чинники безпосередньо впливають на якість готової продукції з піноподібною структурою, тому встановлення їх впливу та методів керування ними представляє значний науковий та практичний інтерес. Також необхідність регулювання властивостей пін з метою оптимізації показників якості продукції з піноподібною структурою обумовлено збільшеним попитом на дану продукцію, оскільки процеси піноутворення широко застосовують при виробництві мусів, самбуків, пудингів, морозива та ін..

Аналіз численних літературних джерел свідчить, що основою багатьох солодких страв є піна, яка являє собою термодинамічно нестійку дисперсну систему з сильно розвиненою поверхнею поділу, утворення якої супроводжується збільшенням вільної енергії системи.

Піни вносять великий вклад в об'єм і текстуру багатьох харчових продуктів. Вони надають об'єм і характерного смаку таким продуктам, як збиті вершки і морозиво, і легку, повітряну текстуру випеченим виробам. Неправильно сформована або нестабільна піна приводить до отримання щільних продуктів з низьким об'ємом, які не відповідають споживчим характеристикам.

Харчова промисловість та ЗРГ використовують значну кількість піноподібних мас, які умовно можна поділити на піни, які використовуються одразу після приготування (коктейлі, креми), та піни, які можуть зберігатися тривалий час після технологічної обробки (зефір, пастила).

На сьогоднішній день теоретичними аспектами процесу піноутворення залежно від складу інгредієнтів, їх властивостей, способу утворення й стабілізації, а також дослідженням впливу на нього різних технологічних чинників займалися такі вчені, як Ребіндер П.О., Дерягін В.П., Ландау Л.Д., Dickinson E., Просеков О.Ю., Тихомиров В.К., Баканова О.О., Глєбова Н.В., Шур О.О., Котельнікова М.М., Держапольська Ю.І., Гринченко О.О., Пивоваров П.П.,

Горальчук А.Б., Гніцевич В.А., Васильєва О.О., Дорошкевич Р.Ю., Неміріч О.В., Никифоров Р.П., Корецька І.Л. та інші.

Однак, незважаючи на значну кількість робіт не існує однієї загальної теорії утворення та стабілізації пін, що обумовлює подальші дослідження у даному напрямі. Тому вважаємо за необхідне розглянути основні теоретичні положення процесу піноутворення та його стабілізації з метою отримання солодких страв з піноподібною структурою, які б характеризувалися гарною збитістю та стійкістю у часі.

Піни або піноподібні дисперсні системи являють собою дисперсії, що складаються з пухирців газу розділених рідиною, які утворюються при змішуванні рідини з газом чи при внесенні до неї газу. Дисперсія газу в рідині, в якій концентрація газу мала, а товщина рідких прошарків така ж як розміри газових пухирців, називається газовою емульсією або шаровою піною.

Виділяють 2 способи одержання піни:

– диспергаційний – шляхом інтенсивного перемішування рецептурної суміші за атмосферного тиску в присутності піноутворювача. В цьому випадку повітря захоплюється, дробиться на дрібні частинки, а в'язкість маси зростає. При цьому поступово утворюється маса, що являє собою піну.

– конденсаційний – шляхом насичення маси газом за надлишкового тиску.

Літературні дані свідчать, що «чисті» рідини не спроможні утворювати піни достатньо високої стабільності, що підтверджено багатьма вченими на основі уявлень термодинаміки. Однокомпонентна система з достатньо великою поверхнею (плівка, пухирець) швидко руйнується незалежно від значення поверхневого натягу. У таких системах не проявляються чинники стабілізації, які характерні для пін, а процеси їх руйнації відбуваються самовільно і з дуже значною швидкістю. Так, за відсутності надлишку молекул ПАР у поверхневому прошарку, плівки чистих рідин руйнуються під впливом сил тяжіння ще за достатньо великої товщини.

Тихомиров В.К. виділяє такі основні властивості піни: піноутворююча здатність розчину; кратність піни; стабільність піни; дисперсність піни.

З літературних джерел відомо, що дві найважливіші характеристики піни – це об'єм піни та її стабільність. Об'єм піни (або піноутворююча здатність, ПЗ) залежить від здатності піноутворювача до адсорбції на межі розподілу фаз, швидкого зниження поверхневого натягу та швидкості збивання. Стабільність піни (СП) залежить від здатності піноутворювача утворювати стабільні міжфазні плівки і в'язку безперервну фазу.

Іншою важливою характеристикою піни є її дисперсність, яка визначає більшість властивостей та процесів, що протікають в ній, оскільки кінетика зміни дисперсності відображає швидкість внутрішнього руйнування завдяки коалесценції та дифузії газу. Між розмірами бульбашок та стійкістю пін є зв'язок: існує визначений інтервал розміру бульбашок, що має найбільшу стійкість. Цей інтервал зміщено у бік бульбашок меншого розміру, для отримання яких необхідно витратити більше енергії, ніж для отримання великих бульбашок.

У літературі представлено інформацію про вплив різних чинників на властивості піни, які можна розділити на 3 групи:

– пов'язані з присутністю піноутворювача, яким можуть бути колоїдні ПАР або високомолекулярні сполуки. Встановлено, що більшою ПЗ характеризуються ті піноутворювачі, які здатні стабілізувати емульсії першого роду (олія/вода). Слід відзначити, що важливу роль відіграє концентрація піноутворювача;

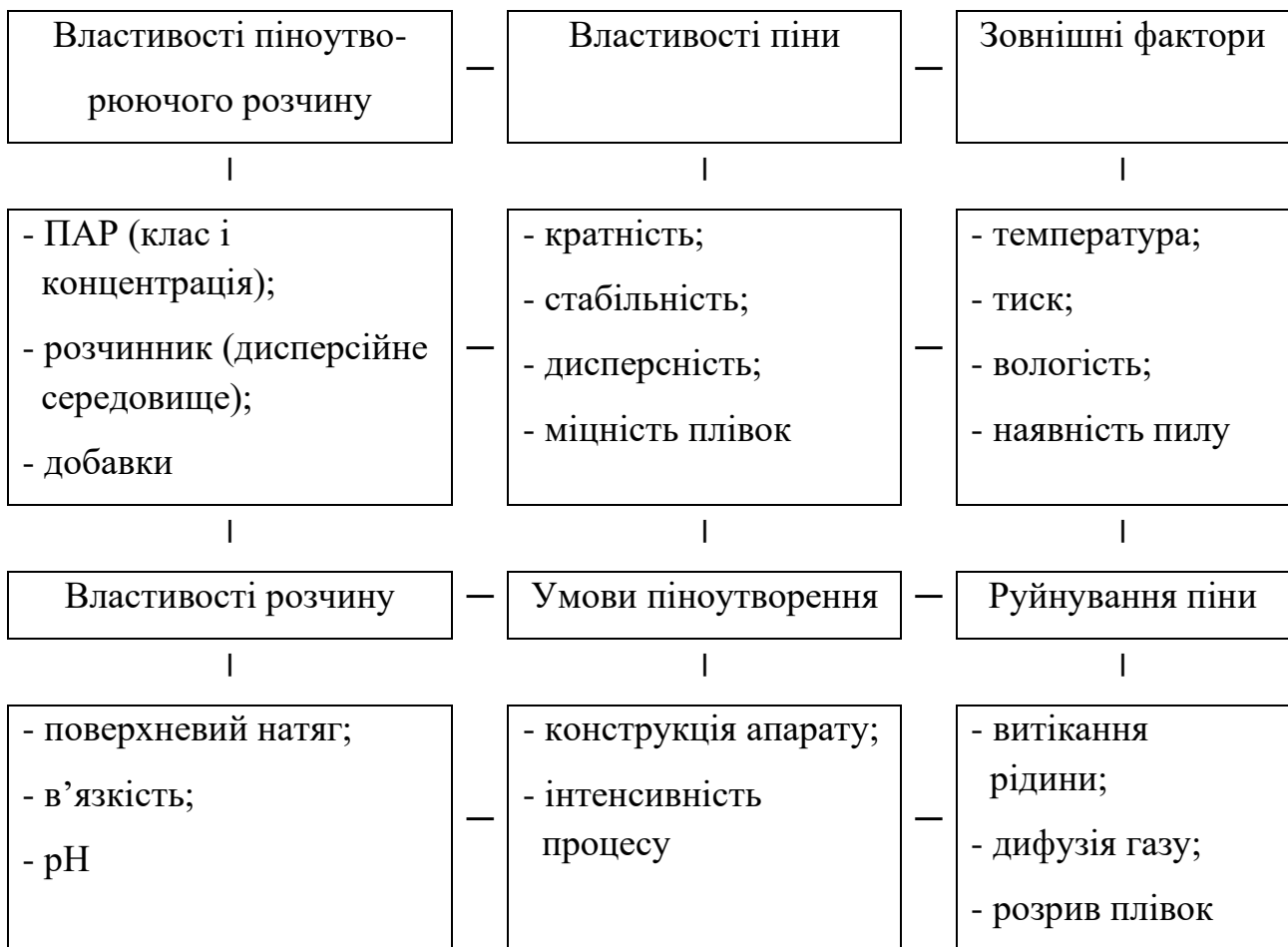
– пов'язані з властивостями дисперсійного середовища (рідини). Її характеристики зумовлені значенням в'язкості (чим вище в'язкість рідини, тим піна є більш стійкою); водневим показником (рН середовища) та присутністю в рідині низькомолекулярних електролітів. Активна кислотність та електроліти також здійснюють вплив на властивості піноутворювачів;

– пов'язані з зовнішнім впливом: температура, випаровування рідини, механічна дія (вібрація, гомогенізація). Відомо, що з підвищенням температури якісні характеристики пін, зазвичай, погіршуються через збільшення десорбції молекул піноутворювача, більш інтенсивного випаровування рідини з плівок та зниження їх в'язкості. Однак для пін, утворених на основі високомолекулярних

сполук, термічна обробка призводить до переходу рідкого дисперсійного середовища в твердоподібне з утворенням твердої піни, яка є абсолютно стійкою.

Іншим чинником, що впливає на властивості пін, є переведення двофазної піни в трифазну. Механізм стабілізації трифазних пін (газ – рідина – тверді частинки) пояснюють звуженням каналів Плато.

У роботі Баканової О.О. представлено наступну класифікацію чинників, що впливають на властивості пін та процес їх руйнування (мал. 2).



Малюнок 2. Чинники, що впливають на властивості та руйнування пін

Автор також відмічає, що велике значення при одержанні якісної піни має тривалість збивання, конструкція обладнання, частота обертання валу, форма лопастей та їх розташування, а також об'єм завантаження чаші. При збільшенні тривалості збивання збільшується об'єм піни, її дисперсність, а тому й стійкість. На піноутворюючу здатність піни, окрім природи і концентрації піноутворювача,

значно впливають такі чинники, як температура, в'язкість дисперсійного середовища, рН середовища та поверхневий натяг.

Відомо, що збільшення концентрації піноутворювача сприяє збільшенню показників ПЗ розчинів, але до певних значень. Цей факт пов'язують з міцелоутворенням, оскільки при досягненні критичної концентрації міцелоутворення спостерігається максимальний об'єм піни.

Зміна ПЗ зі зміною температури пов'язана з впливом великого числа чинників, що пояснює різну поведінку пін при зміні температури.

В'язкість дисперсійного середовища також тісно пов'язана з температурним чинником. Оскільки до рецептур страв з піноподібною структурою, як правило, входить цукор, збільшення концентрації якого призводить до більш в'язкої рідини в плівках піни, що сповільнює її руйнування і підвищує стабільність. Однак здатність цукру підвищувати поверхневий натяг розчинів значно ускладнює процес їх піноутворення.

Певну роль в піноутворенні розчинів, зокрема білкових, відіграє рН середовища: об'єм і стабільність досягають максимального значення в області, що відповідає ізоелектричній точці білків. Для розчинів неіоногенних ПАР характерна інша поведінка – їх піноутворююча здатність не залежить від рН в інтервалі 3,0...9,0.

Поверхневий натяг є однією з властивостей міжфазної поверхні. Доведено, що зі зменшенням поверхневого натягу розчинів їх ПЗ збільшується, оскільки для отримання піни однакового об'єму потрібно витратити менше роботи.

Науковці розрізняють два види стійкості пін:

– кінетичну (седиментаційну) – здатність зберігати незмінним розподіл частинок дисперсної фази в об'ємі системи, тобто здатність системи протистояти силі тяжіння;

– агрегативну – здатність зберігати незмінними в часі розміри частинок дисперсної фази (дисперсність) та їх індивідуальність.

Агрегативна стійкість визначається термодинамічними, кінетичними і структурно-механічними факторами та базується на дослідженнях Ребіндера

П.О., Дерягіна В.П., Ландау Л.Д., Dickinson E., Іоргачової К.Г., Дорохович В.В.,
Зубченко А.В. та ін..

Відповідно до літературних даних стабільність піни оцінюють за трьома показниками: стійкістю до витікання рідини з плівок (синерезис), зміною дисперсного складу; зменшенням загального об'єму піни.

Синерезису властиві наступні характеристики:

– швидкість синерезису обернено пропорційна збільшенню в'язкості розчину піноутворювача і змінюється обернено пропорційно квадрату кратності, і прямо пропорційно квадрату дисперсності піни;

– швидкість синерезису зменшується зі збільшенням концентрації піноутворювача;

– за однакової кратності і дисперсності швидкість синерезису знижується зі зменшенням висоти стовпа піни;

– зі зниженням температури швидкість синерезису зростає, хоча в'язкість розчину збільшується. Це пов'язано з підвищенням поверхневого натягу, яке призводить до збільшення розміру бульбашок піни.

Таким чином, важливим аспектом в утворенні та стабілізації піноподібних систем є розуміння сил, що діють на піну (табл.1).

У першу чергу, це сила гравітації, яка викликає витікання рідини з плівок між бульбашками. Витікання можна сповільнити, якщо підвищити в'язкість розчину або шляхом введення до розчину твердих частинок, які, потрапивши в канали Плато, зменшать їх «вільний діаметр». Сповільнення витікання рідини через звуження каналів може стати механізмом стабілізації піни з трьома фазами (газ-рідина-тверді частинки). Усі вищезазначені характеристики пін визначають її структурно-механічні властивості. На відміну від рідин піни мають характерні ознаки, що дозволяють розглядати їх як структуровані системи, які характеризуються властивостями твердих тіл.

Таблиця 1

Сили, що діють на піну

Природа сили	Вплив на піну
1	2
Гравітація	Дренаж рідини з піни
Різниця тиску у плівках і каналах	Витікання рідини в канали
Різниця тиску газу в пухирцях різного розміру	Дифузія газу з маленьких пухирців
Перекривання подвійних електричних шарів	Збільшення стійкості піни

Зовнішньо це виявляється в здатності піни зберігати початкову форму певний час. Очевидно, що є зв'язок між структурно-механічними властивостями піни, синерезисом і в'язкістю поверхневих прошарків. Високу в'язкість мають піни, що характеризуються меншою швидкістю витікання рідини і високою в'язкістю адсорбційних прошарків. Ці властивості притаманні розчинам речовин, що містять полярні органічні групи (наприклад, насиченим жирним спиртам або кислотам), які добре адсорбуються на поверхні поділу фаз рідина-газ.

Нестійкість пін викликано надлишком вільної енергії у поверхневому шарі, який розділяє дисперсну фазу та дисперсійне середовище, внаслідок чого погіршуються органолептичні показники готової продукції. Для отримання піноподібної продукції стабільної якості до її складу вносять стабілізатори, які також сприяють покращенню піноутворюючих властивостей. Для збільшення стійкості піни і в'язкості систем, що збиваються, додають агар, желатин та інші речовини. Цим досягається фіксація утвореної піни, надання їй механічної міцності.

Головним чинником стійкості піни у часі є стабілізуючі властивості ПАР. Критеріями оцінки ефективності ПАР є величина адсорбції на межі поділу

рідина – газ, зниження поверхневого натягу, гранична адсорбція. Визначають три основних чинника стійкості: кінетичний (в результаті розтягнення плівки зменшується концентрація ПАР, що призводить до збільшення поверхневого натягу та стабілізації (стягування) міжфазної поверхні), структурно-механічний (значне збільшення в'язкості міжфазного шару у порівнянні з в'язкістю рідини), термодинамічний (поява розклинюючого тиску в каналах в результаті відштовхування подвійних електричних шарів). Кінетичний чинник стійкості пов'язаний з утворенням стабілізуючих адсорбційних шарів ПАР, які зменшують швидкість витікання по каналах та плівкам. Таким чином кінетичний чинник стійкості зумовлено пружністю плівки.

Окрім природи та концентрації піноутворювача на стійкість піни системи впливає активна кислотність середовища (рН) і масова частка цукру. Більшість ПАР стабілізують піну в лужному середовищі. Вплив цукру на показники піноутворюючої здатності носить негативний характер. Отримані авторами експериментальні дані свідчать про значне зниження ПЗ та СП. На зниження даних показників впливає як кількість цукру, так і спосіб його введення. Найкращим способом введення цукру є введення всієї кількості в кінці збивання, що чинить найменший негативний вплив на піноутворюючу здатність.

З урахуванням проведеного аналізу можна стверджувати, що технологічні принципи забезпечення стабільності властивостей продукції з піноподібною структурою базуються на використанні в їх складі функціонально-технологічних інгредієнтів (ФТІ) – загусників, емульгаторів, стабілізаторів, піноутворювачів та інших, що забезпечують фазову стійкість таких систем та перешкоджають седиментації або коагуляції дисперсної фази.

При виборі стабілізатора необхідно враховувати те, що він або повинен збільшувати значення розклинюючого тиску в каналах піни, або значно підвищувати в них в'язкість, практично обмежуючи рух рідини по каналах. Цього можна досягти, знаючи склад і властивості стабілізатора (температуру дії, рН, раціональні концентрації та ін.).

Роль стабілізаторів полягає, як правило, у підвищенні в'язкості дисперсійного середовища, у зв'язку з чим їх вводять до харчової системи на останньому етапі технологічного процесу, коли дисперсна система вже сформована. Уведення стабілізатора на першому етапі не завжди можливе, оскільки висока в'язкість системи ускладнює, а в деяких випадках перешкоджає утворенню необхідної структури.

Аналіз результатів роботи показав, що низькі температури не тільки позитивно впливають на ПЗ, але й частково стабілізують піну. Це пояснюється збільшенням в'язкості системи, за якої спостерігається гідростатична стійкість, що призводить до зменшення дифузії та всмоктування міжплівкової рідини. При цьому сповільнюється зливання дрібних пухирців у великі, що здійснює менш руйнуючу дію на стійкість піни.

Збільшення температури збивання негативно впливає на стійкість пін. Це пов'язано з посиленням теплових коливань адсорбованих молекул, які послаблюють механічну міцність поверхневого шару, утвореного молекулами ПАР.

Необхідно відмітити, що всі вищезазначені чинники: природа й концентрація піноутворювача, температура, в'язкість дисперсійного середовища, рН середовища, значення поверхневого натягу розчинів, наявність електролітів в рідкій фазі, присутність різних інгредієнтів у вигляді твердих частинок, жиромісної сировини здійснюють значний вплив на стабільність піни. Однак ці взаємодії мають особливості характерні для різних піноподібних систем, тому їх потрібно досліджувати для кожного випадку окремо.

Слід відмітити, що в науковій літературі відсутні дані щодо використання нативних крохмалів в якості стабілізатора піни, що визначає необхідність проведення досліджень з метою створення науково обґрунтованих механізмів одержання стабільних піноподібних систем з використанням крохмалю.

Аналіз діючих закладів ресторанного господарства України свідчить, що обсяги виробництва солодких страв за останні роки значно збільшилися, що обумовлено, в першу чергу, споживчим попитом на дану групу продукції.

Дана тенденція проявляється у розширенні мереж спеціалізованих ЗРГ, які пропонують споживачам розширений асортимент солодких страв, як за рахунок оригінальних композиційних рішень, так і використання інноваційних технологій їх виробництва.

Однак, слід зазначити, що дана група продукції представлена, в основному, в ЗРГ, а харчова промисловість випускає досить обмежений асортимент який представлено желе, збитими молочними десертами та молочними коктейлями. Тому розширення даного сегменту є перспективним напрямом, який потребує подальших досліджень.

Численні літературні дані свідчать, що удосконалення технології даної групи продукції здійснюється в багатьох напрямках: застосування напівфабрикатів різного ступеня готовності, підвищення харчової і біологічної цінності, зниження калорійності, використання різноманітних структуроутворювачів, загущувачів, натуральних підсолоджувачів, цукрозааміників та ін..

На кафедрі технології харчування Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна» (м. Київ) розроблено та впроваджено у виробництво рецептури й технологію десертів з використанням сухих функціональних сумішей «АЕ Panna Cotta Orange», «АЕ Африканська Мрія», «Крем-Брюле». Дані суміші містять такі інгредієнти, як карагінан, камедь плодів рожкового дерева, модифікований крохмаль, що забезпечують необхідну стійку структуру продукту, яка не змінюється протягом певного проміжку часу при зберіганні.

Перспективним напрямом розширення асортименту десертної продукції є використання молочно-білкових напівфабрикатів з молочною сироваткою та камеддю гуара. Функціональні суміші дозволяють отримати десертний продукт з високими показниками якості. Їх використання сприяє збільшенню термінів зберігання готової продукції, підвищенню економічної ефективності виробництва при застосуванні обладнання та закупівлі великої партії напівфабрикату тощо.

Також на основі функціональних напівфабрикатів продукція виготовляється

за спрощеною технологічною схемою. Доведено, що виробництво білкового, вершкового крему, коктейлю, мусу з використанням багатофункціонального напівфабрикату дозволяє скоротити тривалість технологічного процесу без погіршення структури готового продукту.

Аналізуючи сучасні технології виробництва десертної продукції, необхідно відмітити удосконалення її рецептурного складу за вітамінною складовою, нутрієнтним складом та надання їй певних властивостей. З цією метою доцільно використовувати рослинну сировину, багату вітамінами, макро- та мікроелементами, таку як журавлину, ягоди обліпихи, калини та фізалісу.

Використання рослинної сировини у складі десертної продукції є досить перспективним напрямом, оскільки за рахунок їх хімічного складу можна збагатити дану групу багатьма корисними речовинами.

Авторами розроблено мус функціонального призначення з використанням клітковини та олії з насіння розторопші. Збита десертна продукція характеризується підвищеною харчовою цінністю, збалансованим хімічним складом і здатністю поповнювати дефіцит життєво необхідних харчових речовин.

З метою оптимізації рецептури солодких страв та збагачення їх йодом і селеном розроблено технологію десертів «Яблучна піна» підвищеної біологічної цінності з використанням ламінарії та шроту бразильського горіха й гарбузового самбуку «Осілля насолода» з ламінарією. Розроблені десерти є продукцією функціональної дії, які можна рекомендувати до вживання дорослим і дітям з метою профілактики захворювань щитовидної залози, що сприятиме покращенню здоров'я й самопочуття споживачів.

Колективом авторів КНТЕУ та Інституту гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзеєва АМНУ запропоновано спосіб виробництва мусу, що включає приготування мусу шляхом теплової обробки молока, тертого шоколаду, манної крупи, цукрової пудри та вершкового масла, охолодження і введення до отриманої маси під час збивання біологічно активної добавки «Йодоселен», попередньо змішаної з ванільною пудрою, розлив готового мусу у формочки і

охолодження протягом 6 годин. Даний мус відрізняється тим, що під час його приготування на стадії збивання до рецептурної суміші додають біологічно активну добавку "Йодоселен" у кількості 1,0 % від маси мусу. Запропонований спосіб дозволяє отримати страви з покращеними смаковими властивостями, підвищеної харчової, біологічної цінності та зниженої калорійності.

Відомий спосіб виробництва ягідного мусу з калини звичайної, обліпихи крушинової, який передбачає набрякання желатину, його розчинення за температур 40...45°C, змішування з цукровим сиропом і пюреподібною масою, нагрівання до 85...90°C, охолодження до 30°C, збивання і наступне драглеутворення. Запропонований мус відрізняється тим, що отримання пюреподібної маси відбувається шляхом обробки ягід у вихровому шарі феромагнітних частинок обертаючого електромагнітного поля з величиною магнітної індукції 0,13 Тл протягом 50...55 с за швидкості обертання поля 3000 об/хв. і відокремлення насіння за допомогою центрифугування.

Науковцями ХТЕІ КНТЕУ розроблено технологію десертної продукції геродієтичного призначення із застосуванням композицій рослинного походження (продуктів переробки водоростей, злакових та олійних культур) та технологію напоїв функціонального призначення з використанням фізіологічно-активної сировини (молочної сироватки, пектину – зостерин, розчину гідратованих фулеренів (ВРГФ – С60НуFn)). Дослідженнями встановлено, що збагачення десертної продукції та напоїв функціонального призначення добавками рослинного походження та фізіологічно-активною сировиною значно впливає на формування показників їх якості. Також, встановлено, що дана сировина здійснює позитивний вплив на органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники розробленої продукції.

Чисельними дослідженнями фахівців доведено, що використання натуральної рослинної сировини з метою структуроутворення дозволяє не тільки розширити асортимент харчової продукції, але й відмовитися від харчових добавок хімічної природи та раціонально застосовувати місцеві ресурси.

Так, авторами було встановлено можливість використання напівфабрикату

з топінамбура та кизилу (НТК) у технології самбуків до 100% заміни фруктового пюре при одночасному зменшенні вмісту цукру та яєчного білка. Висока збитість пояснюється наявністю високомолекулярних полімерів у складі топінамбура – пектинових речовин, білка, клітковини, здатних зміцнювати структуру страв, а здійснена оптимізація процесу збивання суміші дозволила визначити раціональні показники збитості харчової системи з використанням НТК.

Науковцями пропонується використання в технології кремів – солодких страв порошку з топінамбуру. Отримані креми характеризуються покращеними споживчими характеристиками, підвищеною харчовою цінністю та можливістю їх вживання у дієтичному харчуванні.

З огляду на вищезазначене авторами здійснено розробку технології кремів з використанням порошку топінамбура, вершків, вершкового сиру та яєць. Обґрунтовано вибір сировини для виробництва вершкового крему, розроблено технологічну схему його виробництва.

Авторами запропоновано технологію мусу лікувально-профілактичного призначення, що містить яблука, крупу манну, воду, який відрізняється тим, що додатково містить пектиновмістну харчову добавку «Вітапектин» та мед. Завдяки емульгуючим, стабілізуючим та піноутворюючим властивостям харчової добавки «Вітапектин», мус краще та легше збивається, характеризується більшим об'ємом, має кращу консистенцію та більш виражений смак та аромат фруктів. Це пов'язано з тим, що харчова добавка підсилює смак та запах основних інгредієнтів і добре їх доповнює.

Іншими розробками даного колективу авторів є технологія солодких страв з використанням фруктових порошоків (зокрема, самбуку з додаванням 4,0% яблучного кріопорошку) та смузі на зерновій основі (проса, вівса, льону, пшеничних висівок, проса з ламінарією). Проведені дослідження стверджують, що розроблені солодкі страви характеризуються високою біологічною активністю, збільшеним вмістом вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон і рекомендовані для лікувально-профілактичного харчування населення.

Колективом авторів запатентовано рецептурний склад солодкої збивної страви, який включає молочну основу, молоко цільне, яйця курячі, цукор білий, желатин, ванілін, воду, причому як молочну основу використовують вершки та додатково вносять порошок з апельсинів (чи яблук), отриманий способом холодного розпилювального сушіння.

На підставі аналізу органолептичних та фізико-хімічних показників, хімічного складу визначено вміст порошку з апельсинів, який знаходиться в межах 9,0...11,0% (або 7,0...9,0% порошку з яблук), що дозволяє покращити споживні властивості: надати пінної структури, високих смакових властивостей, знизити енергетичну цінність та розширити асортимент даної групи продукції.

Науковці вважають, що перспективним напрямом розроблення технології страв з пінною структурою є створення продукції без цукру з широким спектром овочево-ягідної сировини (буряк, квасоля, картопля, капуста, кабачки, морква, селера (корінь), хрін, яблука та журавлина). Так, для приготування самбуків на першому етапі отримують овочево-ягідну основу шляхом попередньої її термообробки та подрібнення до утворення однорідного пюре. На другому етапі желатин розчиняють у воді, додають до підготовленого пюре, перемішують з додаванням білків яєць. Потім збивають протягом 20...25 хв до утворення пишної пінної маси. На заключному етапі проводять охолодження готової суміші та здійснюють розлив у форми за температури 6...8°C. Дослідивши структурно-механічні показники збитих страв: дисперсність та пористість, виявлено, що самбуки характеризуються високою дисперсністю та щільністю, тим самим запобігаючи швидкому руйнуванню структури при меншій кількості пор. При цьому готові страви мають більшу пористість, забезпечуючи пінну та ніжну консистенцію.

Науковцями НУХТ розроблено технологію збитих десертів типу самбук з використанням фруктового та овочевого пюре на основі агару і пектину вітчизняного та зарубіжного виробництва, що мають профілактичне значення. Завдяки додаванню пюре з яблук, гарбуза та хурми солодкі страви збагачуються йодом, набувають радіопротекторних, антиоксидантних властивостей, а її

виробництво не потребує ускладнення технології та додаткового матеріального оснащення. Авторами встановлено, що більш доцільним структуроутворювачем є пектин. Найкращі показники якості самбуків отримано при додаванні структуроутворювача в кількості 6 г, цукру – 140 г, інвертного цукру – 30 г, кількість пюре залежить від вмісту сухих речовин.

Авторами розроблено спосіб виробництва мусу, що включає підготовку сировини, дозування компонентів, їх змішування, брикетування, який відрізняється тим, що на стадії підготовки сировини здійснюється попереднє оброблення манної крупи інфрачервоним випромінюванням за температури 155...165°C та подальше її екструзійне оброблення за температури 135...145°C.

Багато робіт зарубіжних та вітчизняних учених присвячено розробці технологій використання молочного білка як піноутворюючого агента в збитих молочних стравах. Так, В.П. Ануфрієв запропонував піноутворюючі композиції на основі казеїнату натрію, модифікованого крохмалю та пшеничного борошна. Зазначено, що якісні показники піни, отриманої з використанням даних композицій, кращі, ніж у яєчного білка. Широко використовуються концентрати молочної сироватки у виробництві морозива. З.С. Зобкова та Л.Г. Митник у своїх дослідженнях доводять доцільність використання піноутворюючих агентів – молочно-білкових концентратів у виробництві збитих молочних десертів.

Авторами зроблено висновок, що в сучасних технологіях збитої продукції не повною мірою реалізується функціонально-технологічний потенціал знежиреного молока (ЗМ) і рослинної сировини, та про доцільність використання білкових речовин ЗМ і пектинових речовин рослинної сировини в технологіях збитої десертної продукції (ЗДП). На підставі аналізу наукових літературних джерел доведено, що одним з перспективних шляхів використання ЗМ в технологіях ЗДП є концентрування білкових речовин шляхом термокислотної коагуляції з наступним переведенням казеїну лужним гідролізом в розчинний стан. Встановлено, що рослинна сировина з кислим середовищем може виступати чинником термокислотної коагуляції білків ЗМ.

Дослідниками ХДУХТ запропоновано спосіб виробництва збитого кисломолочного десерту, який передбачає попередню підготовку компонентів, пастеризацію суміші, змішування з кисломолочною основою, додавання суміші цукру та смакового наповнювача, перемішування та охолодження, збивання і стабілізацію збитого продукту. Даний десерт відрізняється тим, що як кисломолочну основу використовують молочно-білковий концентрат зі сколотин (МБК), як рідинний компонент сколотини, як стабілізатор структури – ксантан. Ксантан замочують в сколотинах для набрякання за температури $30\pm 5^{\circ}\text{C}$, розчинюють за температури $35\pm 5^{\circ}\text{C}$ протягом 80 ± 10 хвилин, а потім пастеризують протягом 5 хвилин. Суміш перемішують з підготовленим МБК у співвідношеннях 33...40:67...60, збивають протягом 5...7 хвилин та здійснюють стабілізацію структури протягом 2...3 годин. Готовий продукт характеризується підвищеною піноутворюючою здатністю та стійкістю піни та може зберігатися тривалий час. Технологію можна реалізовувати як в підприємствах молочної промисловості, так і в закладах ресторанного господарства.

У науковій літературі зустрічаються відомості про використання піноутворювачів, у тому числі з молока та сколотин. При їх застосуванні піна набуває дрібнозернистості та є досить стійкою. Сьогодні високоефективні піноутворювачі виготовляють з молочної сироватки одержуючи концентрати сироваткових білків методом ультрафільтрації, які потім висушують. Такий концентрат характеризується високою піноутворюючою здатністю та стійкістю піни. Велике значення приділяється використанню в якості піноутворювача білків цільної крові забійних тварин або її плазми. Підвищенню піноутворюючої здатності сприяє використання соєвого білкового гідролізату.

Дослідниками надано наукове обґрунтування складу морозива вершкового, молочно-шоколадного, вершкового з яйцем, з рослинними жирами і CO_2 -екстрактами. Встановлено раціональні концентрації і співвідношення рецептурних компонентів (молока, вершків, молока сухого знежиреного, масла вершкового, замінника молочного жиру, кріопорошків апельсину, манго, мандарину, підсолоджувала стевії, стабілізаторів-емульгаторів, борошна

ляного, рисового, кукурудзяного і вівсяного, молочної сироватки, меду), які забезпечують високі споживчі та лікувально-профілактичні властивості готового продукту.

Авторами розроблено молочний десерт з пінною структурою з використанням j-карагінану та k-карагінану. Процес збивання рецептурної суміші забезпечується завдяки присутності в її складі поверхнево-активних речовин. Запропоновано використовувати у складі десерту як структуроутворювачі модифікований крохмаль, j-карагінан, k-карагінан, агар, ксантан, високоетерифікований пектин. Ці речовини забезпечують стабілізацію колоїдних систем, у тому числі з пінною структурою на основі молочної сировини.

Науковцями запропоновано спосіб отримання мусу з використанням каппа-карагінану з якісно зміненими функціонально-технологічними властивостями, який включає приготування структуроутворювача, додавання його у відвар з плодово-ягідної сировини, внесення цукру, віджатого соку, кислоти лимонної, охолодження та збивання до перетворення суміші на пухку масу. Як драглеутворювач використовується каппа-карагінан з покращеними функціональними властивостями за рахунок функціональних добавок: триполіфосфату натрію, цитрату кальцію, альгінату натрію та хлористого кальцію.

Вченими НУХТ досліджено властивості модифікованих крохмалів: «MicrolysFH02», «SwelyGelSoft», «ColdSwell» з метою їх застосування у виробництві виробів піноподібної структури. Встановлено, що модифіковані крохмалі володіють здатністю до поглинання великої кількості води, що в десятки разів перевищує їх власну масу. Застосування цих крохмалів сприяє стабілізації піноподібних структур, а крохмаль «ColdSwell» значно покращує процес піноутворення. Автори констатують, що усі вищезазначені крохмалі позитивно впливають на стійкість піни і є стабілізаторами піноподібної структури.

Серед чисельних розробок та інновацій в технології солодких страв з піноподібною структурою є спосіб одержання мусу тривалого зберігання, який містить керовану емульсію типу «жир у воді», в якому співвідношення жирової фази до водної фази становить від 25:75 до 60:40.

Даний винахід відноситься до мусів тривалого зберігання, які не потрібно зберігати за низьких позитивних температур, і до кондитерського виробу, який містить такий мус як оздоблювальний напівфабрикат. Метою винаходу є одержання мусу тривалого зберігання, який забезпечує відчуття у роті, подібне до традиційних шоколадних мусів та є кращим за споживчими характеристиками, ніж наявні на ринку аналогічні продукти тривалого зберігання.

Мус може бути отриманий шляхом приготування жирової та водної фаз окремо, додаванням жирової фази до водної на швидкості, що дозволяє протягом певного часу за допомогою перемішування сформувану емульсію та піддати її аерації при застосуванні високообертового мікзера. В іншому варіанті, жирова та водна фази можуть бути поєднані, а суміш піддана аерації.

Аналіз інформації щодо інновацій в технології солодких страв з піноподібною структурою показав, що усі вищезазначені технологічні рішення передбачають або використання нових інгредієнтів у їх складі, або нових технологічних підходів, що забезпечують сталі показники готової продукції. Однак, в літературних джерелах відсутня інформація щодо використання крохмалів у їх складі як структуроутворювачів, що потребує проведення експериментальних досліджень.

Запропонований підхід дозволить отримати муси тривалого зберігання та надасть можливість їх виробництва, як у закладах ресторанного господарства, так і на підприємствах харчової промисловості.

10.1.2 Організація, предмети, матеріали та методи дослідження

Предметами дослідження у роботі є:

– водні розчини ГПМЦ D5, ГПМЦ D50, ГПМЦ D4000, E471, E481 та E432 (Твін 20) в діапазоні концентрацій 0,1...0,3 %;

– суспензії пшеничного крохмалю за вмісту крохмалю 8,0% та Твін 20 – 0...0,3%;

– модельні системи «пшеничний крохмаль – Твін 20» за вмісту крохмалю 2,0...14,0%, Твін 20 – 0,1...0,3%;

– модельні системи «пшеничний крохмаль – Твін 20 – цукор» за вмісту крохмалю 8,0%, Твін 20 – 0,25%, цукру – 0...20,0 ;

– модельні системи «пшеничний крохмаль – Твін 20 – лимонна кислота» за вмісту крохмалю 8,0%, Твін 20 – 0,25%, лимонної кислоти – 0...1,0%;

– модельні системи «пшеничний крохмаль – Твін 20 – цукор – лимонна кислота» за вмісту крохмалю 8,0%, Твін 20 – 0,25%, цукру – 10,0%, лимонної кислоти – 0...1,0%;

– плодові та овочеві муси з використанням пшеничного крохмалю.

Кількість рецептурних компонентів визначалася за допомогою вагів електронних CERTUS із межами зважування 0,01...0,30 кг, ціною розподілу 0,01 кг.

Розчини ПАР отримували шляхом внесення необхідної кількості ПАР у дистильовану воду за температури $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ з подальшим нагріванням.

Суспензії пшеничного крохмалю (СПК) одержували суспендуванням сухого крохмалю з дистильованою водою за температури $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Оклеїстеризовані крохмальні дисперсії отримували шляхом нагрівання СПК за певних технологічних параметрів.

Модельні системи отримували перемішуванням суспензій пшеничного крохмалю з розчинами Твін 20, цукру та лимонної кислоти і подальшою термообробкою.

Модельні системи для визначення ефективної в'язкості готували наступним чином: за температури 20°C з'єднували складові модельної системи з дистильованою водою та нагрівали при постійному перемішуванні на водяній бані до 60°C. Прогріті системи переносили до вимірювального вузла ВПН-0,2, який був попередньо встановлений в термостаті за температури 60°C, залишали на $(5...7) \cdot 60$ с для відновлення температури, після чого здійснювали вимірювання. Після зняття показань температуру в термостаті підвищували на 5°C і після досягнення заданої температури знову знімали значення приладу. Нагрівання здійснювали при перемішуванні.

Модельні системи для визначення піноутворюючої здатності та стійкості піни готували наступним чином: за температури 20°C з'єднували складові модельної системи з дистильованою водою та нагрівали при постійному перемішуванні на водяній бані до 60, 70, 80 чи 90°C після чого піддавали збиванню протягом 3×60 с за відповідної температури.

Характеристику крохмалю пшеничного (ТОВ «Бакалійна справа») зазначено в табл. 2.

Характеристику поверхнево-активних речовин, представлених фірмою «Appli Chem GmbH» (Німеччина), зазначено в табл. 3.

Сировина та матеріали, що використовували для виробництва мусів, відповідали вимогам діючої нормативної документації: цукор білий за ДСТУ 4623, лимонна кислота за ДСТУ 908, сорбат калію (Е 202), плодові й овочеві соки та пюре за діючою нормативною документацією та дозволені до використання Центральним органом виконавчої влади в сфері охорони здоров'я.

Таблиця 2

Характеристика крохмалю пшеничного

Найменування показника	Фактичне значення
1	2
Зовнішній вигляд	Білий тонко дисперсний порошок
Запах	Властивий, нейтральний
Волога, %	13,0

Продовження таблиці 2

Білки на СР, %	0,3
Крохмаль на СР, %	97,0
Значення рН	6,0...7,0
Зола на СР, %	0,2
Ситовий аналіз частинок > 200 мкм, %	2,0
Насипна щільність, кг/м ³	500...600
КМАФАМ, КУО/г не більше	1·10 ⁴
Плісень, КУО/г не більше	200
Дріжджі, КУО/г не більше	200
БГКП в 1 г, Сальмонела в 25 г	Не допускається

Таблиця 3

Характеристика поверхнево-активних речовин

Найменування показника	Характеристика показника
1	2
Е 432 (Твін 20, поліоксіетиленсорбітан монолаурат)	
Зовнішній вигляд	Жовтувата, в'язка рідина
Густина (d _{20°/4°})	1,095...1,105
Число омилення	40...50
Гідроксильне число	100
ГПМЦ (гідроксипропілметилцелюлоза)	
Зовнішній вигляд	Білий порошок
Насипна маса, г/мл	0,45...0,55
Вміст метоксильних груп, %	19,0...24,0
Вміст гідроксипропілоксигруп, %	6,0...8,5
Зольність, %	≤ 1,0
Вологість, %	≤ 5,0

Піноутворюючу здатність та стійкість піни визначали за методом Лур'є.

Розрахунок піноутворюючої здатності (ПЗ, %) здійснювали за формулою:

$$ПЗ = \left(\frac{V_n}{V_p} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

де V_n – об'єм піни, мл;

V_p – об'єм розчину до збивання, мл.

Розрахунок стійкості піни (СП, %) здійснювали за формулою:

$$\text{СП} = \left(\frac{B_n^{15}}{B_n} \right) \cdot 100, \quad (2)$$

де B_n^{15} – висота піни через 15×60 с після збивання, м;

B_n – початкова висота піни, м.

Піноутворюючу здатність та стійкість піни модельних систем визначали шляхом їх збивання протягом 3×60 с та заміру результатів, отриманих одразу після збивання, та після 15×60 с від початку збивання.

Поверхневий натяг (σ , Н/м) водних розчинів ПАР визначали за допомогою сталагмометра методом підрахунку крапель. Розрахунок здійснювали за формулою:

$$\sigma = \frac{\sigma_0 \cdot n_0}{n} \quad (3)$$

де σ_0 , n_0 – поверхневий натяг та число крапель для дистильованої води;

n – кількість крапель для розчину, що досліджується.

Динамічну або ефективну в'язкість (η , Па×с) зразків визначали на віскозиметрі постійної напруги ВПН – 0,2М []. Визначення ефективної в'язкості здійснювали за формулою:

$$\eta = k \cdot U \cdot T \cdot A \quad (4)$$

де k – постійна вимірювального вузла, Па/В;

U – напруга керування, В;

T – період обертання, с;

A – коефіцієнт форми вимірювального вузла.

Швидкість зсуву ($\dot{\gamma}$) визначали за формулою:

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{T \cdot A} \quad (5)$$

За отриманими даними будували криві течії $\eta = f(\dot{\gamma})$.

Для визначення в'язкості модельних систем порівнювали значення в'язкості з однаковою швидкістю зсуву, яку обирали в області мінімальної в'язкості

зруйнованої структури.

Реологічні характеристики ОКД під час нагрівання визначали на амілографі Брабендера. Початкова температура становила 25°C, збільшення температури нагріву відбувалося з інтервалом 1,5°C за хвилину. В'язкість дисперсій виражали в умовних одиницях амілографа від 0 до 1000.

Енергетичні (ентальпійні) зміни ОКД визначали методом диференціально-скануючої калориметрії. ДСК проводили для 8,0 %-вих крохмальних суспензій в температурному інтервалі 20...100°C за надлишкового тиску 0,25 МПа і швидкості сканування 1°C/хв.

З метою оптимізації технологічних параметрів одержання мусів з використанням пшеничного крохмалю використовували математичне моделювання, зокрема, кореляційно-регресійний аналіз.

Для опису залежностей між вихідними змінними і вхідними параметрами обрано неповну квадратичну модель виду (6), яка дає можливість експериментальним шляхом обрати їх оптимальні поєднання.

$$Ai(x, y, z) = ai_k + ai_k \cdot x + ai_k \cdot y + ai_k \cdot z + ai_k \cdot x^2 + ai_k \cdot y^2 + ai_k \cdot z^2 + ai_k \cdot x \cdot y + ai_k \cdot x \cdot z + ai_k \cdot y \cdot z \quad (6)$$

де ai_k – коефіцієнти математичної моделі;

$i=1,2$ – показник якості продукту (Y_1, Y_2);

k – коефіцієнти математичної моделі ($k=1 \dots 10$).

Для визначення коефіцієнтів моделі обрано оптимальний насичений план D, який складається з 10 дослідів і не передбачає перевірку всіх комбінацій вхідних величин, як у плані повнофакторного експерименту, але за точністю відтворення математичної моделі наближається до нього (табл. 4). Числові значення моделі представлені у кодованому вигляді (-1; 0; 1)).

Таблиця 4

Таблиця плану експерименту

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0	0
Y	-1	1	-1	1	1	0	0	-1	-1	0
Z	1	-1	-1	1	0	1	-1	0	1	0

Побудовану матрицю експерименту G , яка враховує обраний вид математичної моделі (6) та визначені коефіцієнти моделі, що описують залежність зміни вихідних показників від параметрів технологічного процесу.

Визначення коефіцієнтів моделі здійснювали за формулою:

$$a_i = (G^T \cdot G)^{-1} \cdot G^T \cdot Y_i \quad (7)$$

де Y_i – вектори, що визначають показники якості ($i=1,2$).

Оптимальні параметри технологічного процесу виробництва мусів знаходили з використанням програм, які входять до складу пакету MathCAD для розв'язання задач оптимізації. Для об'єктивного судження про ступінь вірогідності отриманих даних проводили математичну обробку результатів досліджень.

Мікроскопіювання зразків для визначення діаметру повітряних бульбашок здійснювали за допомогою мікроскопу «Біолам» з цифровою камерою ScoreTek DCM-130E 1.3 Мр з одержанням фотографій за допомогою програмного засобу ScorePhoto 3.0. Обробку фотографій проводили за допомогою програмного засобу з відкритим вихідним кодом ImageJ 1.47. Отримані розмірні характеристики пін статистично обробляли за допомогою програмного засобу Microsoft Excel.

Органолептичний аналіз готової продукції проводили з використанням п'ятибальної шкали.

Хімічний склад мусів визначали наступними методами досліджень: масову частку вологи – шляхом висушування зразків у сушильній шафі за температури 130 °С, загальний вміст білка – методом К'ельдаля, вміст жирів – кислотним методом, вуглеводів – фериціанідним. Для встановлення вмісту золи використовували муфельну піч, в якій спалювали наважку за температури 450...500°С.

10.1.3 Наукове обґрунтування технологічних параметрів одержання та стабілізації піноподібних систем з використанням пшеничного крохмалю

Моніторинг асортименту солодких страв показав, що продукція, яка представлена на ринку, постійно потребує оновлення згідно з сучасними трендами розвитку технологій та проявляє ефект «втомлюваності» у часі. Це виявляється у незадоволенні в повній мірі потреб споживачів, що диктує необхідність удосконалювати технологічні підходи з її виробництва. Динамічний розвиток вищезазначеного сегмента визначає доцільність удосконалення існуючих технологій та розробки нових.

Необхідно зазначити, що в ланцюгу реалізації солодких страв споживачам заклади ресторанного господарства не є безпосередніми учасниками роздрібною торгівлі, оскільки, як правило, не виробляють продукцію тривалого зберігання через відсутність науково-технологічних принципів виробництва та виробничого менеджменту.

Проведені маркетингові дослідження свідчать, що сегмент збитої десертної продукції тривалого зберігання, в тому числі з пінною структурою, не є насиченим і не задовольняє попит споживачів. Зазначено, що головним принципом заповнення даної ніші є більш повна реалізація сировинного потенціалу, який покладено до основи функціонування галузі. Також зазначено, що лідером у виробництві даної групи продукції є молочна промисловість, яка пропонує споживачам десертну продукцію на молочній основі (сир кисломолочний, молоко коров'яче, йогурт) з різними наповнювачами. Вона представлена, в основному, десертами ТМ «Дольче», «Чудо» та «President». Відмічено, що за наявності реалізації індустріальних принципів виробництва збитої десертної продукції, ЗРГ здатні заповнити існуючий сегмент і скласти гідну конкуренцію провідним виробникам.

Одним із напрямів удосконалення технології солодких страв з піноподібною структурою є використання в рецептурному складі інгредієнтів, реалізація

функціонально-технологічних властивостей яких дозволить забезпечити отримання кінцевої продукції зі стабільними показниками якості, новими споживчими властивостями та реалізувати технологічний процес з вираженими індустріальними ознаками виробництва.

Проведений аналіз літератури щодо тенденцій виробництва солодких страв показав, що існуючі наукові досягнення в обраному сегменті не реалізуються повною мірою через відсутність сучасних актуалізованих технологій. Встановлено, що до рецептурного складу багатьох солодких страв входять модифіковані крохмалі, на частку яких припадає значна питома вага, гідроколоїди та ПАР. Крохмалі, властивості яких змінено фізичними, хімічними чи біохімічними впливами виконують роль згущувачів та сприяють утворенню й стабілізації емульсійних систем. Однак технологій кулінарної продукції, яка базується на реалізації вищезазначених властивостей існує обмежена кількість. Крохмалів, які б характеризувалися піноутворюючими властивостями та використовувалися у рецептурах солодких страв з піноподібною структурою у літературі не було виявлено.

Враховуючи вищезазначене виникає необхідність корегування властивостей нативних крохмалів з метою їх реалізації в технології солодких страв з піноподібною структурою, яке може бути здійснено шляхом сумісної взаємодії «крохмаль-ПАР».

Слід зазначити, що, як правило, утворення гетерогенної структури харчової продукції з пінною структурою суттєво відрізняється і протистоїть принципам її стабілізації. Це досягається введенням до харчової системи речовин, які характеризуються піно- та структуроутворюючими властивостями, таких як білки молока, меланж, желатин та похідні целюлози, полісахариди різноманітної природи (ксантан, карагінан, гуарова камедь та ін.). Традиційною операцією технологічного процесу їх виробництва є різка зміна параметрів обробки, таких як теплова чи холодильна, що призводить до фіксації пінної структури солодких страв. Але такий підхід ускладнює технологічний процес як за складом, так і за довжиною технологічного ланцюга.

Враховуючи вищезазначене технологія виробництва солодких страв з піноподібною структурою потребує корегування технологічного процесу, що дозволить реалізувати її не тільки в умовах харчових виробництв але й набути широкого поширення в ЗРГ.

З урахуванням аналітичних досліджень сформульовано робочу гіпотезу, згідно з якою кероване регулювання динамічних фазових переходів пшеничного крохмалю разом з ПАР дозволить реалізувати технологію мусів, а також запровадити індустріальні методи їх виробництва.

Удосконалення технології мусів полягає в науковому обґрунтуванні закономірностей одержання пінних систем з використанням пшеничного крохмалю й низькомолекулярних ПАР та їх стабілізації, що дозволить отримати піноподібну структуру та забезпечити її стабільність у часі. Характеристики інноваційного продукту та шляхи реалізації робочої гіпотези наведено в табл. 5.

З урахуванням функціональних властивостей речовин та способів їх обробки, вирішення проблеми значно звужується, бо існує незначна кількість речовин, які б зберігаючи спорідненість з дисперсійним середовищем, були б здатні утворювати нову фазу.

З цієї точки зору крохмаль – унікальна речовина, яка є гетерогенною системою, оскільки «клейстер» являє собою дисперсну систему, що характеризується певною щільністю. Залежно від параметрів технологічного процесу питомий показник щільності крохмального клейстеру можна регулювати.

Інноваційний задум нового продукту

Показник	Характеристика показника	Шляхи реалізації
1	2	3
Задум товару	Готовий до споживання мус (фасована страва для роздрібною мережі та ЗРГ), виготовлений з використанням пшеничного крохмалю та натуральної плодово-овочевої сировини. Отриманий шляхом реалізації технологічного процесу, до основи якого покладено фазові переходи крохмалю із використання ПАР. Характеризується високими органолептичними показниками характерними, які притаманні мусу	Досягається шляхом експериментальних досліджень із застосуванням математичних моделей
Характеристика товару	Зовнішній вигляд: продукт прямокутної чи круглої форми. Консистенція: піноподібна, пишна, дрібнопориста, однорідна за дисперсністю по всій масі, нетекуча, стійка. Колір, запах, смак добре виражені, властиві вхідним рецептурним компонентам, без сторонніх домішок. Колір характерний плодової чи овочевої сировині. Запах приємний, добре виражений. Смак помірно солодкий	Досягається підбором сировини та забезпеченням реалізації технологічного процесу на основі фазових переходів крохмалю
Концепція товару	Готовий до споживання мус з відповідними органолептичними та фізико-хімічними показниками. Характеризується сталими показниками якості протягом усього терміну зберігання	Маркетингові дослідження ринку збитої десертної продукції
Вартість, цільовий сегмент	Має середню вартість, яка є прийнятною для споживачів з різним рівнем доходу	Економічні розрахунки, підбір складових компонентів
Пакування	Упаковується в пластикову тару місткістю 100...150 г	Асептичне пакування фасувальною машиною

Інноваційний задум нового продукту полягає в:

- розробці технології плодово-ягідних чи овочевих мусів з використанням пшеничного крохмалю та передбачає отримання мусу, який володіє певними конкурентними перевагами у порівнянні з традиційною технологією;
- реалізації індустріального підходу виробництва мусів.

У межах сформульованої робочої гіпотези з метою виробництва мусів індустріальним способом необхідним є реалізація динамічних фазових переходів функціональних речовин за таких умов:

– речовини, які задіяні в технологічному процесі повинні мати виражені фазові переходи з отриманням технологічного ефекту (наприклад, золь-гель переходи для білків чи золь (розчин ВМС)-гель переходи для термотропних полісахаридів);

– на першому етапі реалізації технології отримати термодинамічно нестабільну піну, яка на другому етапі безперервного технологічного процесу набуде стабілізації шляхом впливу додаткової механічної дії та теплової енергії;

– реалізувати технологічний процес отримання піноподібної структури та її фіксації в режимі одновекторного теплового потоку нагріванням.

Забезпечення реалізації технологічної задачі може бути здійснено за рахунок сумісного використання ПАР, які характеризуються високою здатністю до піноутворення, з пшеничним крохмалем, що дозволить отримати нефіксовану пінну систему з заданими показниками, як етапу неперервного технологічного процесу. Окрім цього використання пшеничного крохмалю в рецептурному складі мусів буде сприяти фіксації пінної системи шляхом введення додаткової механічної та теплової енергії на етапі виробництва.

Важливим моментом запропонованої технології є контроль процесу гідратації складових крохмалю, що забезпечується використанням певних за величиною температур. За цих умов ступінь гідратації крохмальних дисперсій може бути різним, тобто за певних (знижених) температур, наприклад 10,0 мас.% суспензія крохмалю може проявляти ефект 4,0 мас.% крохмального клейстеру, повністю оклейстеризованого. Тому використання певних температурних пауз в процесі клейстеризації крохмалю надасть можливість оклейстеризувати ту кількість крохмалю, яка буде відповідати його масовій концентрації піноутворення. За цих умов необхідно здійснити процес збивання, до утворення пінної структури, і в одновекторному режимі здійснити додаткове нагрівання,

що дозволить оклейстеризувати решту крохмалю, досягнувши ефекту концентраційної стабілізації піни з отриманням кінцевого продукту.

Таким чином отримання солодких страв з піноподібною структурою з використанням крохмалю можна регулювати зміною властивостей поверхонь учасників процесу. Утворення додаткових поверхонь в гетерогенних системах потребує збільшення величини роботи, що може бути реалізовано шляхом введенням ПАР, які займають місце на утворених поверхнях і надають системі додаткового технологічного ефекту. За цих умов технологічний процес є неперервним, здійснюється за високих температур, що досягають значень пастеризації і дозволяють отримати продукцію тривалого терміну зберігання.

На даний час в літературі існує достатньо інформації щодо застосування різних ПАР в технологіях солодких страв з піноподібною структурою. Так широкого використання набули ПАР, які мають низку переваг: стабільність під час зберігання, зручність у застосуванні, інертність до інших інгредієнтів, що входять до складу готової продукції. ПАР в технологіях солодких страв застосовують, в основному, з метою забезпечення умов утворення стійкої піни та структури під час їх виробництва. Вибір конкретної ПАР має базуватися з урахуванням їх характеристик: гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ) та її функціональних властивостей. Численні літературні дані свідчать, що найбільш розповсюдженими піноутворювачами та стабілізаторами піни є білкові речовини, наприклад яєчний білок та желатин. Проведений аналіз рецептурного складу солодких страв з піноподібною структурою показав, що в якості піноутворювача використовують похідні целюлози (ГПМЦ), Е471, Е481 та Твін 20 (Е432). Обґрунтування виду та концентрації ПАР необхідно здійснювати з урахуванням їх піноутворюючої здатності та можливості реалізації в технологічному процесі виробництва мусів. Виходячи з цього нами обрано шість ПАР (табл. 6), які характеризуються різним значенням ГЛБ та відповідно різною піноутворюючою здатністю й найчастіше використовуються у складі солодких страв з піноподібною структурою. Науковий інтерес дослідження вищезазначених ПАР полягає у встановленні показників піноутворюючої

здатності, стійкості піни та поверхневого натягу модельних систем «вода-ПАР» залежно від концентрації обраних речовин та температури обробки. Необхідним є досягнення максимальної піноутворюючої здатності оскільки подальша її стабілізація буде приводити до зниження значень даного показника. Дві найважливіші характеристики піни – це її об'єм та стабільність. Об'єм піни залежить від здатності піноутворювача до адсорбції на межі розподілу фаз і швидкого зниження поверхневого натягу та інтенсивності збивання. Стабільність піни залежить від здатності піноутворювача утворювати стабільні міжфазні плівки і в'язку безперервну фазу.

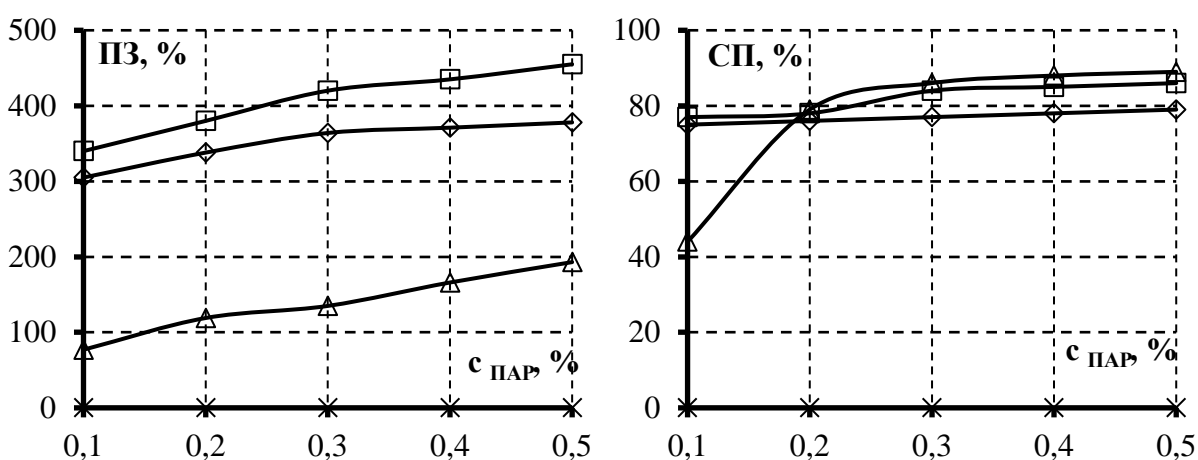
Таблиця 6

Характеристика ПАР для одержання продукції з піноподібною структурою

Найменування ПАР	Характеристика ПАР	Допустимий рівень, г/кг
1	2	3
ГПМЦ D5 (гідроксипропілметилцелюлоза)	Загущувач, емульгатор, стабілізатор, гелеутворювач, добре розчиняється у холодній воді	5
ГПМЦ D50 (гідроксипропілметилцелюлоза)		5
ГПМЦ 4000 (гідроксипропілметилцелюлоза)		5
E 432 / Твін 20 (поліоксіетиленсорбітан монолаурат)	Неіоногенна ПАР, диспергується в воді, ГЛБ 16,7	3
E471 моно- і дигліцериди жирних кислот	Неіоногенна ПАР, диспергується в воді, ГЛБ 3...4	Відсутній
E481 стеароїл-2-лактилат натрію	Іоногенна ПАР, диспергується у воді, ГЛБ 18	5

Також для утворення піни важливим показником є низьке значення поверхнево активного натягу на межі розділення фази рідина-повітря. Низький поверхневий натяг дозволяє зменшувати товщину прошарку середовища між пухирцями з утворенням великої поверхні розділення.

У ході досліджень встановлено, що модельні системи «вода-E471» та «вода-E471» не здатні до піноутворення за відсутності жирової складової. Представники ГПМЦ (D5, D50, D4000) проявляють піноутворюючі властивості тільки у діапазоні температур 20...60°C, оскільки характеризуються зворотною розчинністю. Так, при збільшенні температури модельних систем «вода-ГПМЦ» їх спроможність до розчинення знижується внаслідок чого ГПМЦ випадає в осад і не відбувається процесу піноутворення. Встановлено, що найкращими показниками ПЗ та СП з ряду ГПМЦ характеризується D50 (мал. 3).



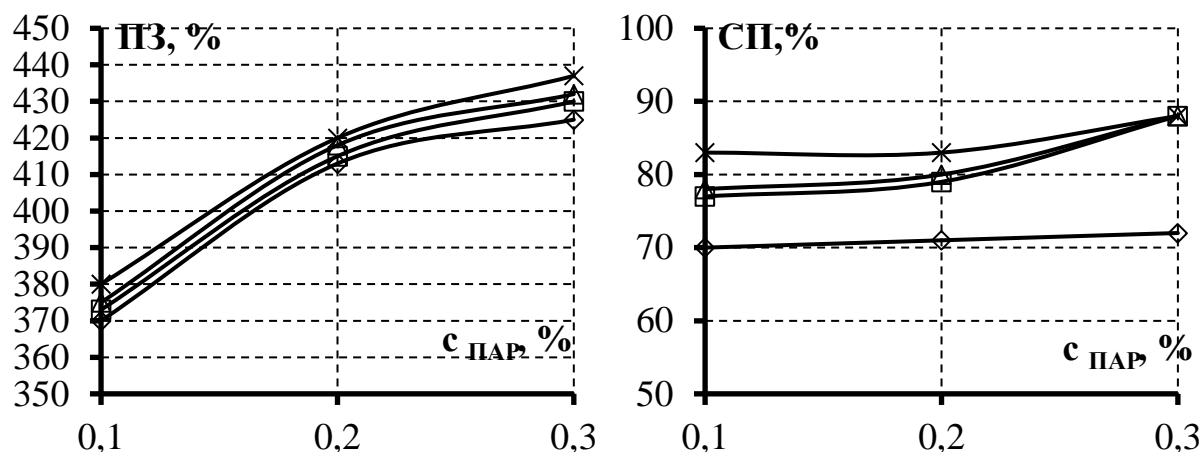
Малюнок 3. Піноутворююча здатність та стійкість піни ГПМЦ D50 від концентрації за температури обробки, °C: ◇ – 20; □ – 40; Δ – 60; × – 80

Визначено, що зростання концентрації ПАР з 0,1 до 0,5% сприяє збільшенню показників ПЗ та СП модельних систем в діапазоні температур 20...60°C. Найвище значення показника ПЗ на рівні 450 % характерне для модельної системи з ГПМЦ D50 за температури обробки 40 °C, в той час як найвищими показниками СП на рівні 90% характеризується система за температури обробки 60°C. Слід зазначити, що за температури 80°C не відбувається процесу піноутворення внаслідок випадання ГПМЦ в осад.

Аналіз отриманих результатів підтвердив літературні дані, які констатують гарні показники піноутворюючої здатності та стійкості піни похідних целюлози за низьких позитивних температур.

Відповідно до робочої гіпотези технологія виробництва плодово-ягідних чи овочевих мусів передбачає теплову обробку рецептурної суміші за температури вище 60°C (з метою стабілізації пінної системи), що виключає можливість використання ГПМЦ в якості піноутворювача у складі мусів, що розробляються.

Встановлено, що збільшення концентрації Е432 (Твін 20) в системі від 0,1 до 0,3% сприяє зростанню показників ПЗ та СП в діапазоні температур 20...80°C з 375±10 % до 430±15 % та з 75±5 % до 87±5 % відповідно (мал. 4).

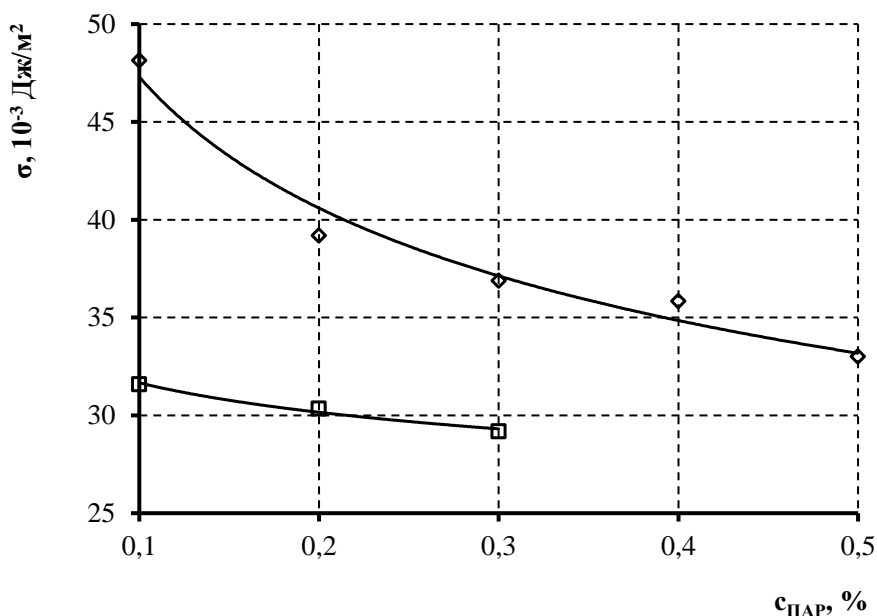


Малюнок 4. Піноутворююча здатність та стійкість піни Твін 20 від концентрації за температури обробки, °С : ◇ – 20; □ – 40; △ – 60; × – 80

Отримані результати свідчать про прямопропорційну залежність показників ПЗ та СП від концентрації ПАР. Відповідно до літературних даних, зі збільшенням концентрації ПАР піноутворення розчинів, спочатку збільшується до максимального значення, потім залишається практично постійним, що підтверджується результатами експериментальних робіт.

На основі аналізу отриманих даних встановлено, що за величиною ПЗ (440%) та СП (89%) раціональним є використання модельної системи «вода-Твін 20» в діапазоні ПАР 0,25...0,3%, який забезпечує показники ПЗ на рівні ГПМЦ за температури 20 °С. Для подальших досліджень використовували модельні системи з Твін 20 в концентрації 0,25%.

З метою підтвердження вибору ПАР досліджено величину їх поверхневого натягу, яка визначає енергетичні витрати на одержання гетерогенної дисперсної системи. Чим нижче поверхневий та міжфазний натяги, тим легше отримати дисперсну систему. Результати дослідження поверхневого натягу розчинів ГПМЦ та Твін 20 (мал. 5) свідчать, що збільшення концентрації ПАР в системі призводить до зниження поверхневого натягу розчинів, а отже до збільшення показників ПЗ (мал. 4). Так, зниження поверхневого натягу разом зі зміною концентрації ПАР й зумовлюють здатність розчинів утворювати піни.



Малюнок 5. Залежність поверхневого натягу розчинів ПАР від концентрації, %: \diamond – ГПМЦ; \square – Твін 20

Отримані дані підтверджують, що кращі поверхнево-активні властивості проявляє Твін 20, оскільки значення поверхневого натягу його розчинів у 1,3...1,5 рази нижче за поверхневий натяг розчинів ГПМЦ.

Аналіз отриманих даних з визначення показників ПЗ, СП та поверхневого натягу обраного ряду ПАР підтвердив доцільність використання Твін 20 в технології плодово-ягідних та овочевих мусів, інноваційний задум виробництва яких передбачає використання високих температур обробки рецептурної суміші з метою стабілізації її структури.

Відповідно до інноваційного задуму стабілізація піноподібних систем передбачається за рахунок використання структуроутворювача – пшеничного крохмалю, який за дії теплового та механічного впливу утворює оклейстеризовану крохмальну дисперсію (ОКД), яка є стабільною у часі. Необхідність керування даного процесу є обов'язковою умовою реалізації нової технології.

ОКД являють собою мікрогетерогенні системи, в яких дисперсною фазою є набряклі крохмальні зерна, що дисперговані у розчині водорозчинної фракції, головним чином амілози..

Слід зазначити, що характеристики ОКД можуть змінюватися залежно від складу харчової системи та умов перебігу технологічного процесу (температури, тривалості обробки, концентрації компонентів, їх виду та ін.).

Відомо, що додавання ПАР сприяє зменшенню значень максимальної в'язкості при підвищенні початкової та максимальної температури клейстеризації. Для ефірів сахарози таку поведінку пояснюють утворенням сполучення емульгатор-крохмаль за рахунок взаємодії гідрофільних груп, які утворюють водневі зв'язки. Ефіри, також, можуть проникати в середину спіральної структури амілози і через гідрофобні зв'язки об'єднуватися в надмолекулярні структури, зменшуючи порожнисту структуру амілози. В результаті швидкість розчинення крохмалю збільшується, а в'язкість зменшується.

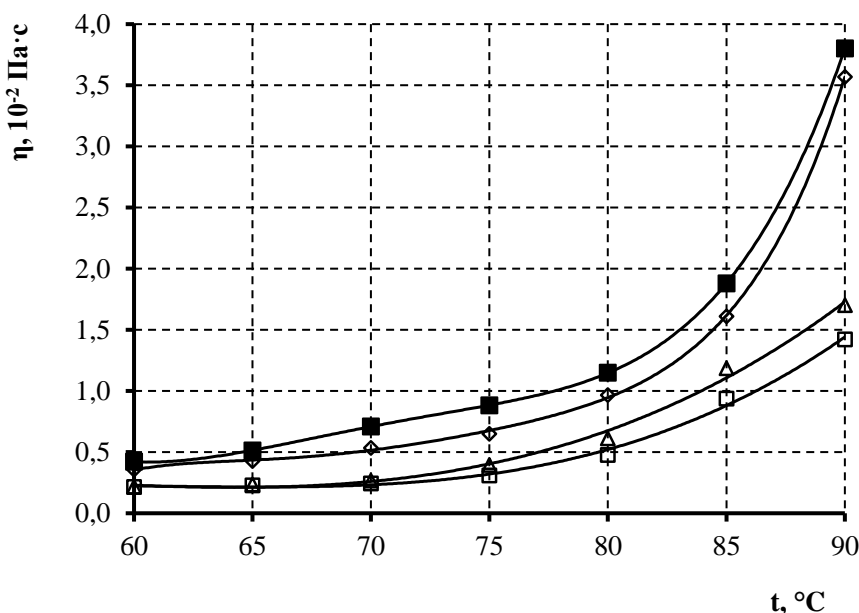
Таким чином, результати багатьох досліджень свідчать, що різні за характером ПАР по-різному взаємодіють та впливають на крохмаль під час теплової обробки. Однак, в літературі не знайдено даних щодо впливу Твін 20 на властивості пшеничного крохмалю за дією різних технологічних чинників.

Вплив Твін 20 на властивості ОКД визначали за постійної швидкості зсуву 320 c^{-1} з побудовою кривої ефективної в'язкості. Оскільки в'язкість для ОКД за цієї швидкості є величиною постійною, то будь-яка її зміна буде визначатися впливом технологічних чинників.

На першому етапі досліджено вплив Твін 20 (E432) на в'язкість 8,0% суспензії пшеничного крохмалю за різних температур обробки (мал. 6).

Аналіз літературних даних свідчить, що температура клейстеризації пшеничного крохмалю знаходиться в межах 60 °С (початкова)...80 °С (кінцева), а температура теплової обробки, яка забезпечує мікробіологічну чистоту та стійкість харчової продукції, становить 90±2 °С.

Встановлено, що присутність в системі Твін 20 в концентраціях 0,25...0,3% сприяє зниженню показників в'язкості крохмальної суспензії у 2...2,7 рази, а також сповільнює початок росту в'язкості у діапазоні температур 60...70°С, тобто підвищує температуру клейстеризації пшеничного крохмалю.



Малюнок 6. Зміни ефективної в'язкості суспензій пшеничного крохмалю від температури обробки за концентрації Твін 20: ■ – 0; ◇ – 0,1; Δ – 0,2; □ – 0,3

Досліджено, що в'язкість крохмальних систем при внесенні Твін 20 в концентраціях 0,2% та 0,3% за температур 60...70°С практично не відрізняється; за температури 90°С різниця становить 0,14·10⁻²Па·с, тому для подальших досліджень в якості робочої концентрації Твін 20 обрано 0,25 %.

Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати, що присутність ПАР в модельній системі «пшеничний крохмаль-Твін 20» за дії температурного впливу сприяє зменшенню показників в'язкості системи в порівнянні з

крохмальною суспензією, яка не містить Твін 20. Таким чином модифікація властивостей крохмалю шляхом їх сумісної взаємодії з ПАР розширює можливості їх застосування.

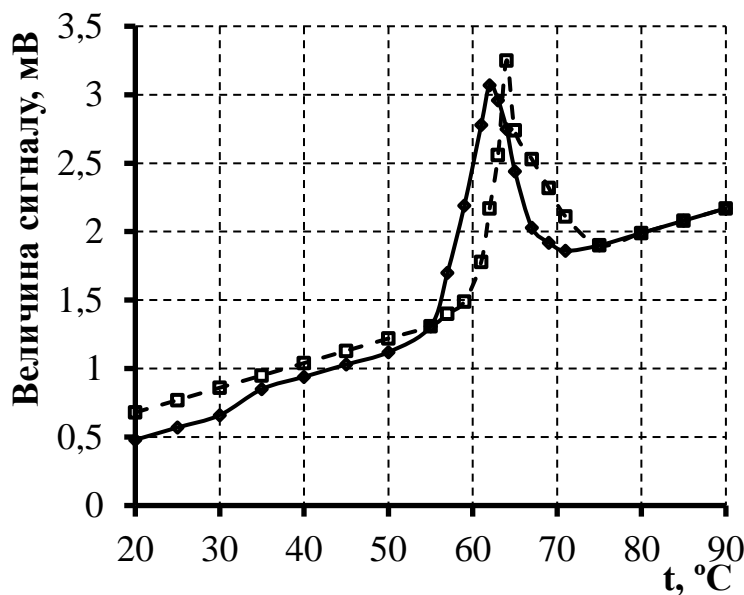
ПАР, які введено до харчової системи до початку процесу клейстеризації крохмалю, проникають в зерна, утворюючи молекулярні комплекси, та знижують здатність до набрякання. Ступінь впливу комплексоутворення з ПАР на властивості крохмалів за термообробки змінюється залежно від типу крохмалю, виду ПАР та умов обробки. Для взаємодії з крохмалем ПАР має добре розчинятися у воді або знаходитися у фазовому стані, здатному до утворення мономерів.

До початку процесу клейстеризації доступність молекул крохмалю досить обмежена, тому ПАР з'єднуються з поверхнею зерен і починають утворювати нерозчинні комплекси крохмаль-емульгатор на початку набрякання зерен, а амілоза – розчинятися. Утворені нерозчинні комплекси на поверхні стабілізують зерна крохмалю, внаслідок чого швидкість подальшого набрякання і вимивання амілози знижується. Температура клейстеризації зростає, оскільки потрібно більше енергії для термообробки або набрякання зерен. Деякі ПАР можуть покривати поверхню крохмальних зерен плівкою, збільшуючи їх гідрофобність, і перешкоджати проникненню води всередину.

Отже, можна припустити, що при внесенні Твін 20 до крохмальної суспензії відбувається його розподіл на поверхні зерен пшеничного крохмалю (адсорбція), що сприяє перешкоджанню проникненню в них води та зменшенню показників в'язкості. Тобто відбувається інгібування набрякання зерен крохмалю у водних системах наслідком чого є зсув початкової температури клейстеризації в бік більших значень, що підтверджено результатами диференціальної скануючої калориметрії (ДСК) та амілографа Брабендера.

Зважаючи на те, що термодинамічний метод, яким є ДСК, є найбільш інформативним та точним у визначенні впливу води на розпакування крохмальних зерен, нами використано його для вивчення процесу гідратації пшеничного крохмалю (мал. 7).

За результатами диференціальної скануючої калориметрії встановлено, що присутність Твін 20 в крохмальній суспензії сприяє зміщенню температурного діапазону фазових переходів в бік їх збільшення: з 55°C для пшеничного крохмалю до 60 °С в присутності ПАР. Наявність піку на кривій ДСК свідчить про проходження фазового перетворення – плавлення кристалічного полімеру крохмалю. На кривій ДСК плавлення виражається як інтенсивний екзотермічний пік: початок піку визначає температуру початку плавлення, а площа піку – теплоту плавлення.

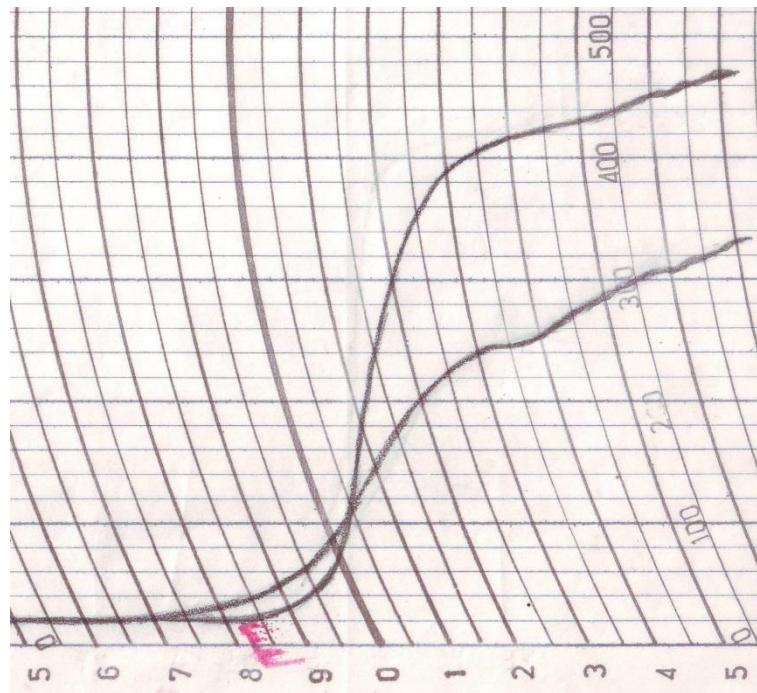


Малюнок 7. Криві ДСК модельних систем: ◇ – пшеничний крохмаль;
□ – пшеничний крохмаль-Твін 20

На початку процесу відбувається помітне збільшення рухливості сегментів полімерних ланцюгів в аморфних областях. Це збільшення пластичності або розм'якшення аморфної склоподібної матриці, так зване «склування» (перехід з високоеластичного стану в склоподібне) робить можливим ще більше проникнення води в гранули, що супроводжується прискореним набряканням крохмалю. Далі в температурному діапазоні від 55°C до 75°C водневі зв'язки через набрякання гранул крохмалю піддаються дії напруг і розподіляються між ланцюгами полімеру в кристалічній фазі, і мікрокристаліт плавиться.

Динамічні зміни в'язкості 8,0% крохмальної суспензії залежно від температури можна зафіксувати за допомогою амілографа Брабендера, який характеризує процеси набрякання та клейстеризації крохмалю (мал. 8, табл. 7).

При підвищенні температури водних крохмальних суспензій вище 50 °С відбувається частковий розрив водневих зв'язків молекул в зерні крохмалю, що призводить до зміни його мікроструктури. Різко зростає гідратація амілози та амілопектину, а тому збільшується розмір зерен – відбувається набрякання.



Малюнок 8. Амілограми зміни в'язкості модельних систем:

1 – пшеничний крохмаль; 2 – пшеничний крохмаль-Твін 20

При підвищенні температури амілоза частково дифундує з аморфної частини зерна і переходить в розчин, а амілопектин залишається в нерозчинному стані. Під час руйнування зерен відбувається деструкція кристалічної частини зерна, полісахариди переходять до розчину, і починається процес клейстеризації. Процеси набрякання та клейстеризації супроводжуються зміною в'язкості суспензії.

Характеристики модельних систем

Найменування показника	Модельна система	
	пшеничний крохмаль	пшеничний крохмаль-Твін 20
1	2	
Температура початку клейстеризації, °С	55	60
Температура максимальної клейстеризації, °С	97	97
Максимальна в'язкість суспензії, од.Браб.	340	470

На початку процесу до досягнення температури клейстеризації відбувається адсорбційно-капілярне чи осмотичне поглинання вологи аморфними областями зерна крохмалю, їх структура зберігається, об'єм зростає. За температури клейстеризації та вище, коли відбувається руйнування міжмолекулярних зв'язків та нативної структури зерна, полісахариди стають розчинними і частково переходять у розчин. За цих умов об'єм зерен та в'язкість системи значно збільшується.

Нагрівання вище температур початку клейстеризації сприяє більш сильному руйнування нативної структури крохмальних зерен. Їх шарувата структура зникає, вони збільшуються в об'ємі в декілька десятків разів і перетворюються в бульбашки, які наповнені розчинною амілозою та сильно набряклим амілопектином. В'язкість клейстеру збільшується, відбувається інтенсивний вихід полісахаридів у розчин. Таким чином, отриманий під час нагрівання суспензії клейстер являє собою оклейстеризовані набряклі зерна, між якими розчинена спіралева амілоза. Ця система представляє собою крохмальний золь.

Отже, процес клейстеризації крохмалю супроводжується руйнуванням структури крохмального зерна. Однією з ознак клейстеризації є значне збільшення в'язкості крохмальної суспензії. В'язкість клейстеру зумовлена не стільки наявністю набряклих крохмальних зерен, скільки здатністю розчинених у воді полісахаридів утворювати тримірну сітку, що утримує велику кількість

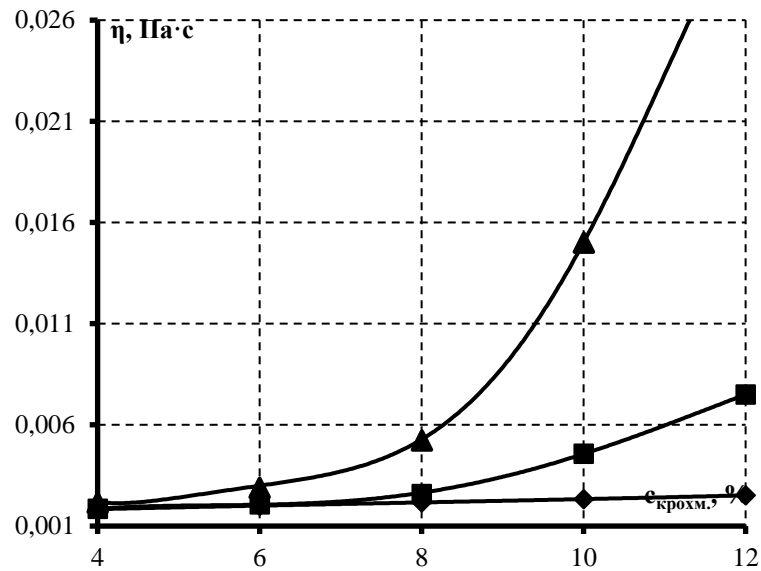
води. Цією здатністю найбільше володіє амілоза, оскільки її молекули знаходяться в розчині у вигляді вигнутих ниток, що відрізняються від конформації спіралей амілопектину. Хоча на амілозу припадає менша частина крохмального зерна, саме вона визначає його основні властивості – здатність до набрякання та в'язкість клейстера.

Аналіз даних, отриманих за допомогою амілографічного методу, підтвердив збільшення температури початку клейстеризації пшеничного крохмалю в присутності Твін 20 з 55°C до 60°C.

Наступним етапом є дослідження в'язкості модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» від концентрації крохмалю за різних температур обробки.

Отримані результати (мал. 9) свідчать, що процеси набрякання та клейстеризації модельних систем супроводжуються зміною їх в'язкості і відбуваються по-різному залежно від температури. Встановлено, що в'язкість модельних систем за температури обробки 60°C носить лінійний характер: збільшення значень показників в'язкості відбувається з $0,18 \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$ до $0,25 \cdot 10^2 \text{Па} \cdot \text{с}$. За температури обробки 70°C зростання показників в'язкості у діапазоні концентрацій крохмалю 4,0...8,0% незначний і становить лише 1,4 рази при 8,0% крохмалю, а для систем з концентрацією крохмалю 12,0% показники в'язкості збільшуються вже у 4 рази (з $0,18 \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$ до $0,75 \cdot 10^2 \text{Па} \cdot \text{с}$).

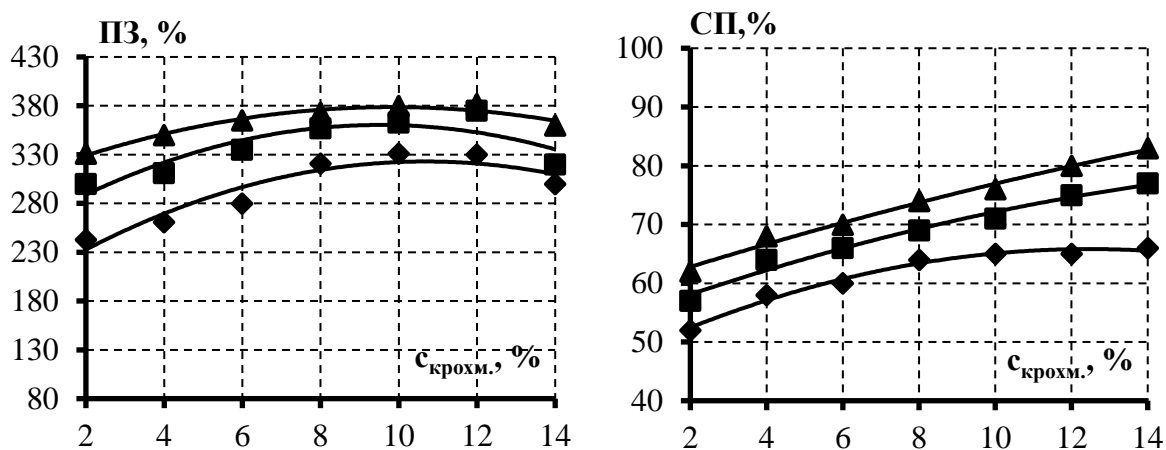
Крива в'язкості за температури 80°C характеризується екстремальним характером, оскільки збільшення показників у 1,4 рази спостерігається вже за вмісту в системі 6,0% крохмалю, за концентрації 12,0% досягає 14,4 рази. Встановлено, що показник в'язкості 4,0% ($0,22 \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$) оклейстеризованої крохмальної дисперсії за температури 80°C практично не відрізняється від показника в'язкості 12,0% крохмальної дисперсії за температури 60°C і становить $0,25 \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$.



Малюнок 9. Залежність в'язкості модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» від концентрації крохмалю за температури обробки: \blacklozenge – 60 °C, \blacksquare – 70 °C, \blacktriangle – 80 °C

Експериментально доведено, що модельна система з концентрацією пшеничного крохмалю 10,0% за температури 60°C (початок клейстеризації) характеризується показниками в'язкості на рівні 4,0 % крохмальної дисперсії за температури 80°C (температура повної клейстеризації крохмалю), що вирішує поставлену технологічну задачу і дає змогу реалізувати інноваційний задум.

Для виявлення впливу параметрів теплової обробки на властивості піноподібних систем з використанням пшеничного крохмалю досліджено піноутворюючу здатність та стійкість піни модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» за різних температур обробки та концентрацій Твін 20 (мал. 10...13).



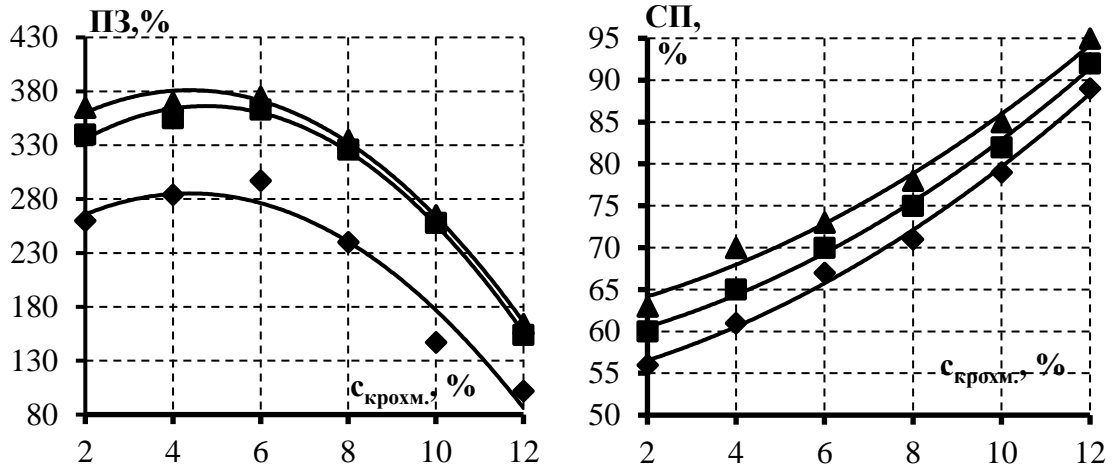
Малюнок 10. Піноутворююча здатність та стійкість піни Твін 20 за температури 60°C від концентрації крохмалю за концентрації ПАР, %:

◆ – 0,1; ■ – 0,2; ▲ – 0,3

Встановлено, що за температури обробки 60°C (мал. 3.8) спостерігається збільшення показників ПЗ та СП модельних систем залежно від концентрації Твін 20. Найвищі значення ПЗ характерні для систем, які містять 6,0...12,0% крохмалю та 0,3 % ПАР й зазначені в межах 365...380%. Найвищим показником СП (83,0%) характеризується система з концентрацією Твін-20 0,3% за максимального вмісту крохмалю, який становить 14,0%.

Визначено, що за температури обробки 70°C спостерігається зменшення показників ПЗ та підвищення значень СП (мал. 3.9). Найкращою ПЗ характеризується модельна система «пшеничний крохмаль – Твін 20» з концентрацією крохмалю 6,0%, значення показника якої складає 370,0% за концентрації ПАР 0,3%. Найвищий показник СП спостерігається для модельної системи з ПАР концентрацією 0,3% та крохмалю – 12,0%, значення якого знаходиться на рівні 95,0%.

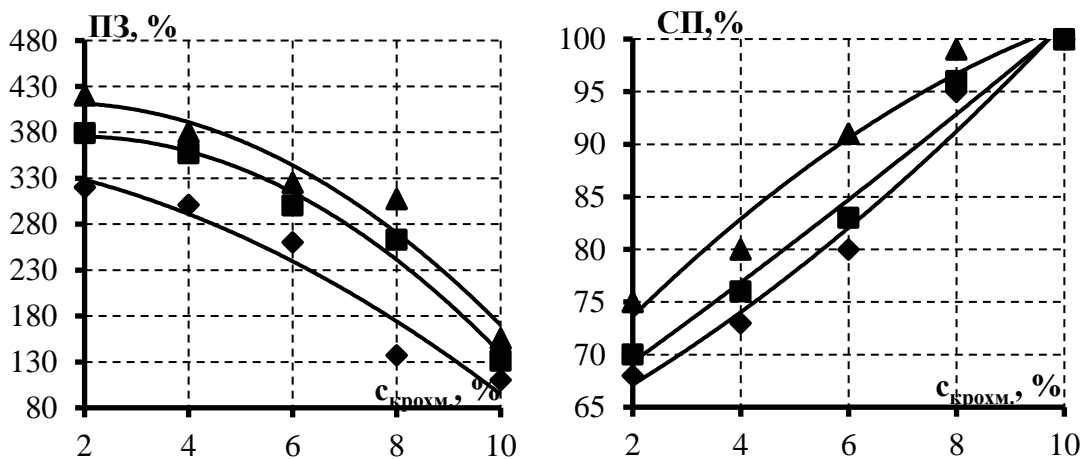
Встановлено, що за температури обробки 80°C (мал. 3.10) спостерігається зменшення показників ПЗ та підвищення значень СП за рахунок процесу клейстеризації крохмалю.



Малюнок 11. Піноутворююча здатність та стійкість піни Твін 20 за температури 70°C від концентрації крохмалю за концентрації ПАР, %:

◆ – 0,1; ■ – 0,2; ▲ – 0,3

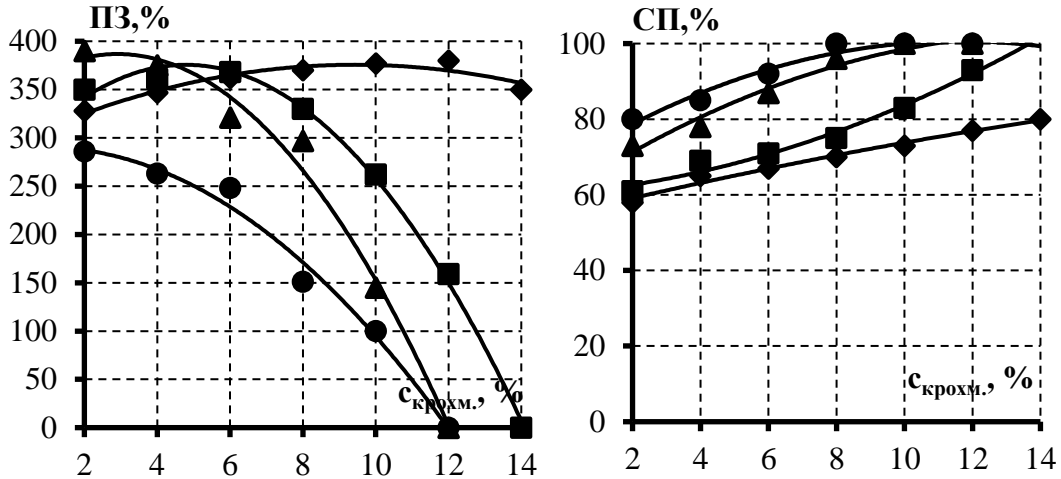
Найкращими показниками ПЗ характеризуються системи з концентрацією крохмалю у діапазоні 4,0...6,0% за концентрації ПАР 0,3%, значення яких знаходяться на рівні 380...325%. Найвище значення СП характерне для систем з ПАР концентрацією 0,3%, яке залежно від концентрації крохмалю в системі (2,0...10,0 %) знаходиться в діапазоні 75...100 %.



Малюнок 12. Піноутворююча здатність та стійкість піни Твін 20 за температури 80 °C від концентрації крохмалю за концентрації ПАР, %:

◆ – 0,1; ■ – 0,2; ▲ – 0,3

Аналіз отриманих даних (мал. 3.11) дозволяє стверджувати, що підвищення температури обробки модельних систем сприяє збільшенню їх в'язкості, що, в свою чергу, призводить до зменшення ПЗ, але збільшення показників СП.



Малюнок 13. Піноутворююча здатність та стійкість піни модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20 (0,25 %)» від концентрації крохмалю за температури обробки, °С: ◆ – 60; ■ – 70; ▲ – 80; ● – 90

Встановлено, що за температури обробки 60°C, тобто на початку процесу клейстеризації, коли ще відсутній значний приріст в'язкості при збільшенні концентрації крохмалю в системі, спостерігаються найвищі показники ПЗ на рівні 330...380%, в той час як показники СП складають 60...80%. Це можливо пояснити колоїдною нестабільністю, оскільки в системі переважають крохмальні зерна, які не в змозі утримати структуру, а навпаки сприяють її руйнуванню.

Стійкість піни, показники якої близькі до 100 %, характерна для систем, які містять 8,0...14,0% крохмалю за температури обробки 80, 90°C та 12,0% крохмалю за температури обробки 70°C. Піноутворююча здатність для систем з концентрацією крохмалю 6,0% складає 250...285%, для 8,0 % крохмалю – 160...250%. Модельні системи з концентрацією крохмалю 12,0% не утворювали піну за температури обробки 80, 90°C, а за 70°C показники ПЗ характеризувалися

на рівні 160%, які є недостатніми для реалізації технології мусів з використанням пшеничного крохмалю.

Аналіз отриманих даних дозволяє констатувати, що збільшення концентрації пшеничного крохмалю підвищенню показників СП. Це пояснюється фазовими переходами крохмалю сумісно з ПАР (Твін 20), що дозволяє отримати модельні системи, які є стабільними у часі.

На основі аналізу експериментальних досліджень розроблено принципову схему виробництва плодово-овочевих мусів (мал. 14), яка передбачає з'єднання рецептурних компонентів та їх сумісне нагрівання за температури $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ при перемішуванні, наступне збивання рецептурної суміші за температури $60\dots 65^{\circ}\text{C}$ з поступовим підвищенням до $85\pm 2^{\circ}\text{C}$.

З метою забезпечення мікробіологічних показників на нормативному рівні здійснення пастеризації за температури $95\pm 2^{\circ}\text{C}$ забезпечить стійкість отриманої піноподібної системи.

Згідно із запропонованою схемою, пшеничний крохмаль разом з Твін 20 виконують роль піноутворювача і стабілізатора системи. Це можливо завдяки унікальній властивості крохмалю при гідротермообробці утворювати колоїдні дисперсії (клейстер). За своєю суттю утворення клейстеру є примусовою гідратацією складових крохмалю, що досягається використанням певних за величиною температур. За цих умов ступінь гідратації крохмальних дисперсій різний, тобто за знижених температур ($60\dots 65^{\circ}\text{C}$) 10,0 % крохмальна дисперсія характеризується показниками на рівні 4,0%, що дозволяє реалізувати інноваційний задум.

Встановлено, що використання температурних пауз при клейстеризації крохмалю дасть можливість оклейстеризувати ту кількість пшеничного крохмалю, яка не буде заважати процесу піноутворення і за цих умов здійснити збивання, що забезпечить збиту структуру мусу. З метою стабілізації пінної системи в одновекторному режимі здійснити додаткове нагрівання до $85\pm 2^{\circ}\text{C}$, що призведе до клейстеризації решти крохмалю з досягненням ефекту концентраційної стабілізації піни з отриманням кінцевого продукту.

За цих умов технологічний процес є неперервним, відбувається за високих температур, які досягають температур пастеризації і дозволяють отримати харчову продукцію тривалого терміну зберігання.

Визначення технологічних параметрів одержання мусів з використанням пшеничного крохмалю, що мають відповідати заданим показникам якості, є складною технологічною задачею, розв'язання якої ґрунтується на використанні сучасних методів теорії планування експерименту з використанням математичного моделювання.

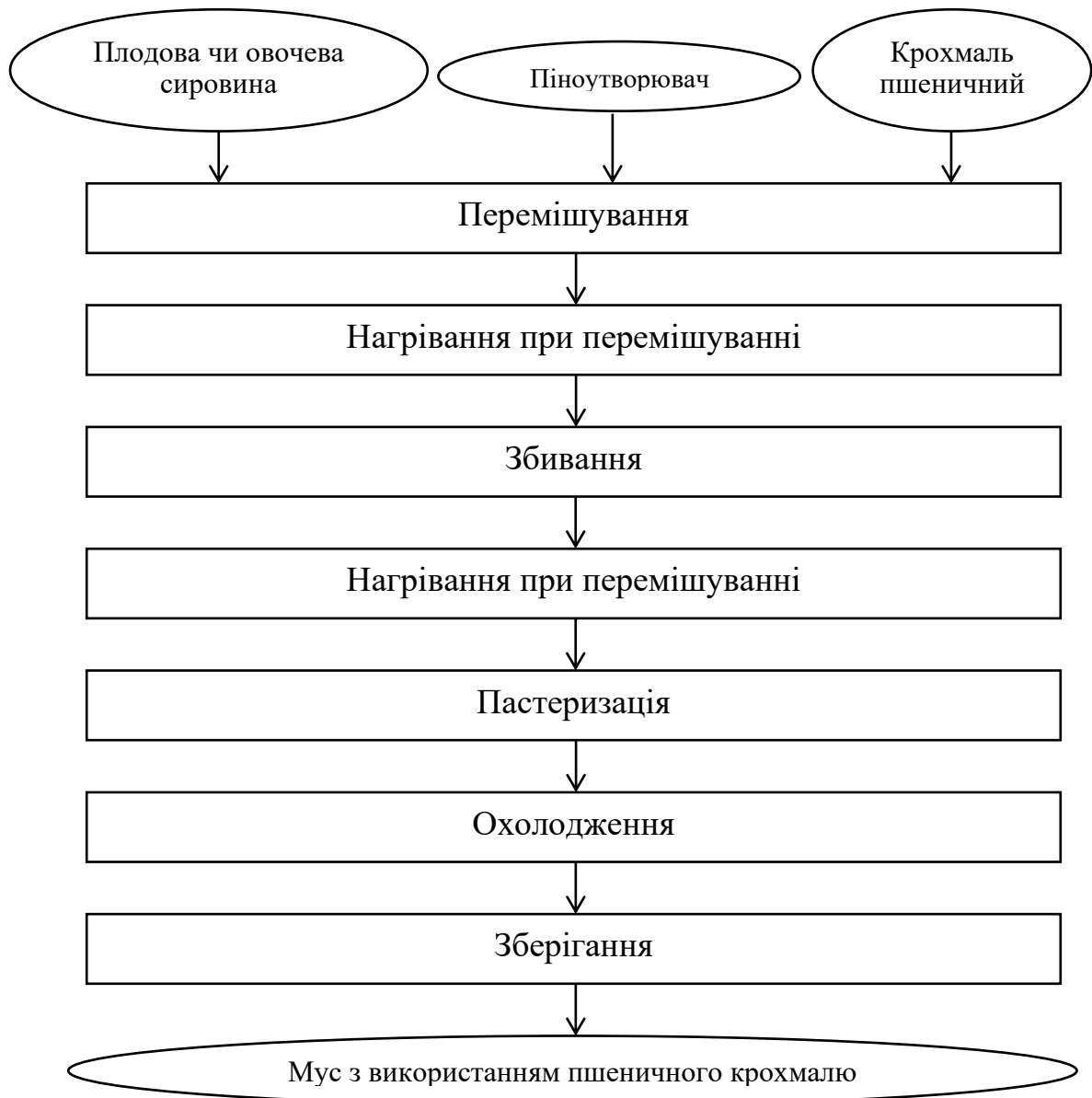
Шляхом проведення експериментальних досліджень встановлено основні залежності між вхідними технологічними параметрами одержання мусів і значеннями вихідних змінних (показників якості мусів), які дають уявлення щодо наявності об'єктивних зв'язків між вхідними та вихідними параметрами. На основі здобутої математичної моделі, шляхом використання методів чисельного аналізу, багатокритеріальної оптимізації та експериментальної оптимізації встановлено значення технологічних параметрів одержання мусів, які найбільше відповідають заданим показникам якості.

Метою побудови математичної моделі є знаходження відповідних залежностей між вхідними та вихідними параметрами технологічного процесу. За результатами проведених досліджень в якості вхідних змінних технологічного процесу одержання мусів обрано: x – концентрація пшеничного крохмалю, %; y – температура збивання, °C; z – концентрація ПАР, %; в якості вихідних змінних (показників якості): $Y1$ – піноутворююча здатність, %; $Y2$ – стійкість піни, %.

У результаті математичних розрахунків отримано дві математичні моделі для кожного показника якості:

$$A1(x, y, z) = a1_1 + a1_2 \cdot x + a1_3 \cdot y + a1_4 \cdot z + a1_5 \cdot x^2 + a1_6 \cdot y^2 + a1_7 \cdot z^2 + a1_8 \cdot x \cdot y + a1_9 \cdot x \cdot z + a1_{10} \cdot y \cdot z \quad (8)$$

$$A2(x, y, z) = a2_1 + a2_2 \cdot x + a2_3 \cdot y + a2_4 \cdot z + a2_5 \cdot x^2 + a2_6 \cdot y^2 + a2_7 \cdot z^2 + a2_8 \cdot x \cdot y + a2_9 \cdot x \cdot z + a2_{10} \cdot y \cdot z \quad (9)$$



Малюнок 14. Принципова схема виробництва мусів з використанням пшеничного крохмалю

Перевірка за статистичними критеріями щодо адекватності моделі показала, що вони чітко відтворюють результати експерименту і можуть бути використані для подальших досліджень, тобто піноутворююча здатність і стійкість піни можуть бути описані відповідними співвідношеннями, де в якості змінних використовуються вхідні параметри процесу.

Для знаходження сукупності вхідних змінних, які визначають максимальні показники якості мусів використовували функцію $P = Maximize (A, x, y, z)$.

Визначені показники якості реалізуються за різних поєднань технологічних параметрів. Максимальне наближення до заданих значень за певним критерієм здійснено з використанням методів багатокритеріальної оптимізації. Загальний вибір виду найкращого критерію якості продукту обумовлено особливостями технологічної задачі. В даному випадку обрано критерій найменших квадратів q , який описано формулою:

$$q = (y_i - y_{i3})^2 \quad (10)$$

де y_i – показник якості, значення якого визначається за результатами обчислення математичної моделі;

y_{i3} – заданий (потрібний) показник якості відповідного параметра.

Для розв'язання поставленої задачі з урахуванням критерію q необхідно «згорнути» показники якості в один комплексний критерій.

Постановку загальної задачі представлено у вигляді 3.4, яка полягає в одночасній мінімізації двох критеріїв показників якості щодо технологічних параметрів одержання мусів з використанням пшеничного крохмалю:

$$q_i(X) \rightarrow \min_{X \in \Omega}, i = 1 \dots 3 \quad (11)$$

де $q(X)$ – загальний критерій якості;

Ω – множина дозволених рішень щодо використання критеріїв (всі можливі сполучення вхідних показників мусів).

Вибір загального критерію якості обумовлений значеннями вихідних показників якості технологічного процесу виробництва мусів після проведення експерименту. Аналіз здобутих результатів показав, що всі вихідні дані мають один порядок. Тому в якості критерію наближення, що дозволяє «згорнути» всі критерії до одного, обрано наступний вираз, який відповідає вимогам методу найменших квадратів:

$$C(X) = \sum_{i=2}^2 [q_i(X) - W_i]^2 \quad (12)$$

де $q_i(X)$ – значення i -го показника, що обчислюється за математичною моделлю;

W_i – необхідне значення показника якості щодо вимог до даного технологічного процесу, яке було визначено шляхом попередніх досліджень.

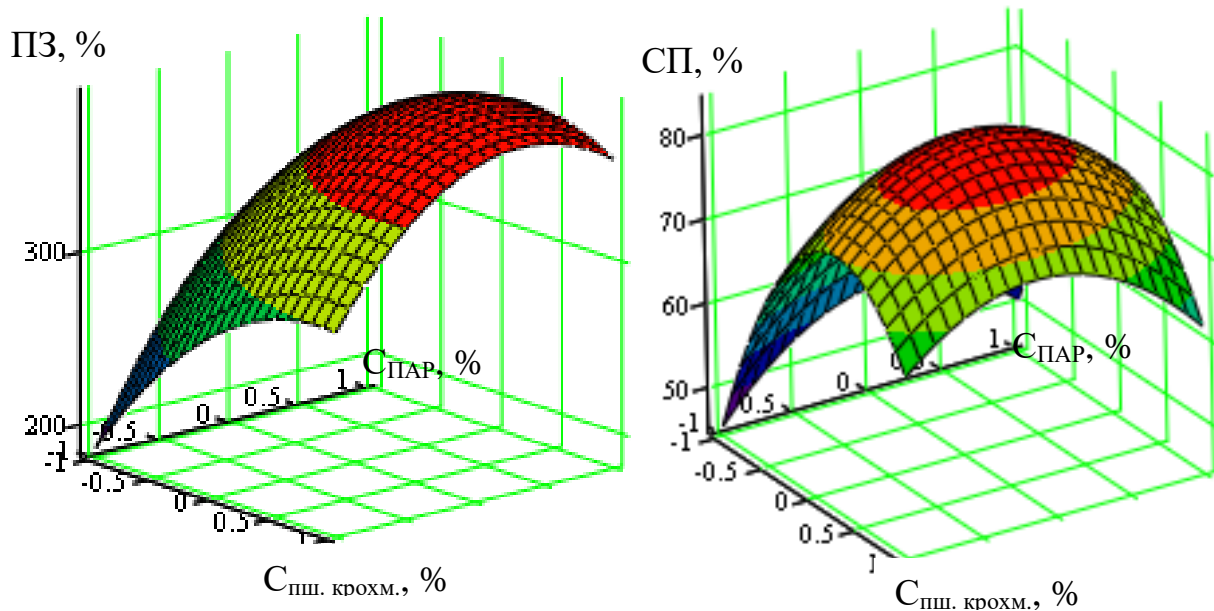
Остаточна формула для знаходження параметрів технологічного процесу X , що використовується у стандартній програмі Minimize пакету MathCAD [369], має вигляд:

$$C = \text{Minimize}(q, X) \quad (13)$$

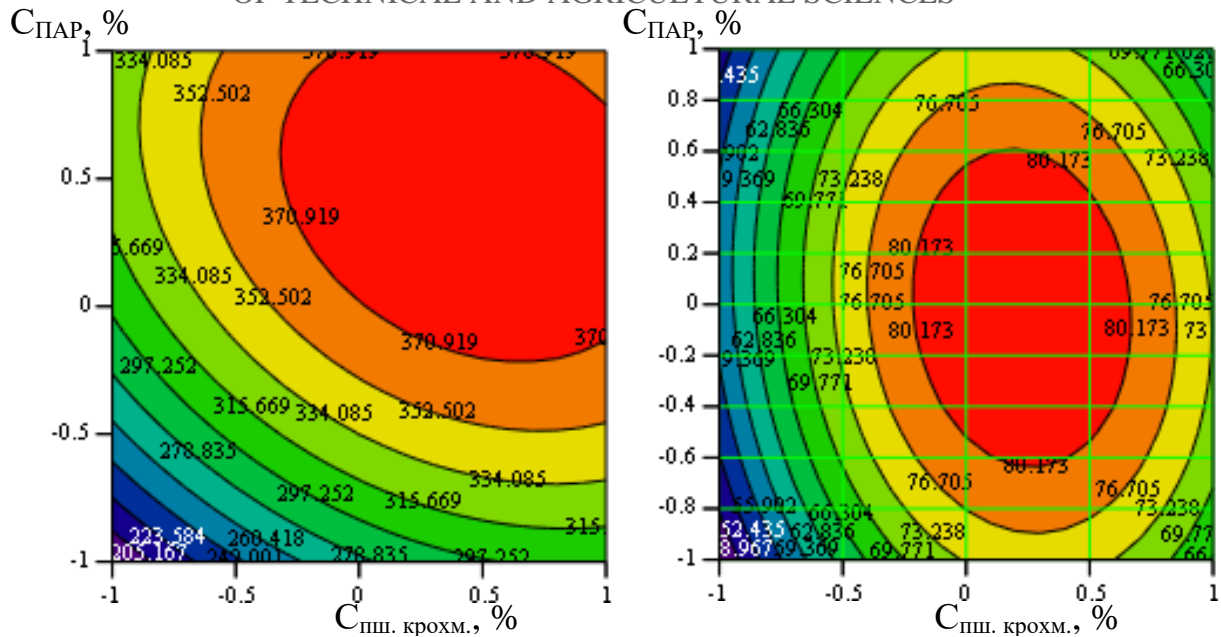
де C – значення вектору параметрів технологічного процесу, які забезпечують виконання;

X – вектор вхідних змінних процесу, який складається із змінних (x, y, z) .

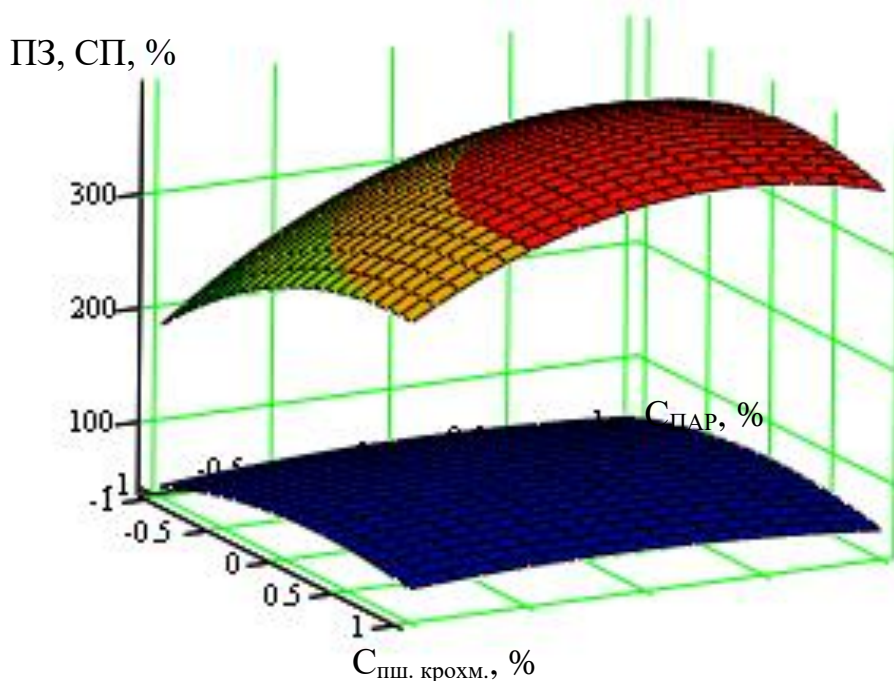
Графічні інтерпретації математичних моделей для показників піноутворюючої здатності та стійкості піни за температури 60 °С наведено на мал. 15-17.



Малюнок 15. Поверхні відгуку математичних моделей для піноутворюючої здатності та стійкості піни мусів з використанням пшеничного крохмалю за температури 60 °С



Малюнок 16. Максимальні значення піноутворюючої здатності (C1) та стійкості піни (C2) мусів з використанням пшеничного крохмалю за температури 60 °C



Малюнок 17. Графічні інтерпретації математичних моделей для піноутворюючої здатності та стійкості піни мусів з використанням пшеничного крохмалю за температури 60 °C

Остаточні дані, які представлено у кодованій формі, розраховані за допомогою математичної моделі та шляхом використання методу багатокритеріальної оптимізації, мають значення: $x=0,377$; $y=-1$; $z=0,37$. Після переходу до природних значень отримуємо наступні значення: $x=10,262\%$; $y=60^\circ\text{C}$; $z=0,237\%$. При цьому значення показників якості мусів з використанням пшеничного крохмалю становлять: $U_1=388,875\%$; $U_2=81,787\%$, що відповідає поставленій задачі.

Таким чином, результати оптимізації свідчать, що оптимальна концентрація крохмалю становить $10,3\%$, концентрація ПАР – $0,24\%$, температура обробки – 60°C . За цих параметрів значення піноутворюючої здатності складає $388,9\%$, стійкості піни – $81,8\%$, що дозволяє реалізувати запропоновану інноваційну стратегію розробки технології мусів з використанням пшеничного крохмалю.

10.1.4 Розроблення технології мусів з використанням пшеничного крохмалю

Одержання плодкових та овочевих мусів з використанням пшеничного крохмалю потребує обґрунтування параметрів технологічного процесу їх виробництва, вивчення впливу технологічних чинників на ПЗ і СП мусів, обґрунтування й розробки рецептурного складу та технологічного процесу виробництва, оцінки показників якості.

Для одержання мусів з використанням пшеничного крохмалю високої якості необхідно врахувати вплив рецептурних компонентів і параметрів технологічного процесу виробництва та визначити їх раціональні параметри.

Для обґрунтування та розробки технології мусів необхідно здійснити перехід від модельних до реальних систем, а розуміння механізмів впливу рецептурних компонентів (цукру, кислоти лимонної) на процеси клейстеризації крохмалю є підґрунтям для обґрунтування рецептури та параметрів технологічного процесу виробництва мусів з використанням пшеничного крохмалю.

З метою отримання мусів зі сталими споживчими характеристиками було досліджено вплив технологічних чинників на в'язкість системи «пшеничний крохмаль – Твін 20»

Відомо, що перебіг процесу клейстеризації крохмалю, показники його в'язкості залежать не тільки від температури обробки, виду крохмалю, але й від виду та вмісту інших компонентів. Це потрібно враховувати, оскільки в процесі виробництва харчових продуктів крохмаль знаходиться в присутності таких речовин, як цукор, білки, жири, харчові кислоти, мінеральні солі, ПАР, вода.

У харчових продуктах вода не просто середовище для реакцій, а активний компонент у процесах, що відбуваються, до того ж значення має не кількість води, а її доступність для участі у перетвореннях чи її активність. На активність води впливають солі, цукри та інші компоненти, що зв'язують воду. Тому, якщо ці речовини присутні у великій кількості, активність води буде нижче, і клейстеризація крохмалю може не відбуватися чи відбуватися обмежено.

Наприклад, сахароза в концентрації до 20,0 % підвищує температуру клейстеризації крохмалів і збільшує в'язкість клейстерів, хлористий натрій навіть в дуже незначних концентраціях – знижує. Високий вміст цукру уповільнює швидкість клейстеризації крохмалю та знижує пік в'язкості. Дисахариди є більш ефективними з точки зору сповільнення процесу клейстеризації і зниження піку в'язкості, ніж моносахариди. Крім того, цукри зменшують силу крохмальних гелів, виконуючи роль пластифікаторів і втручаючись в утворення зон зв'язування.

Вплив цукру на перебіг клейстеризації та властивості ОКД має практичне значення при виготовленні мусів. Відомо, що сахароза затримує набрякання зерен крохмалю у воді за рахунок високого вмісту сухих речовин. Тому, для всебічного обґрунтування використання пшеничного крохмалю в технології мусів вважаємо за необхідне дослідити вплив цукру на показники в'язкості модельної системи «пшеничний крохмаль-Твін 20».

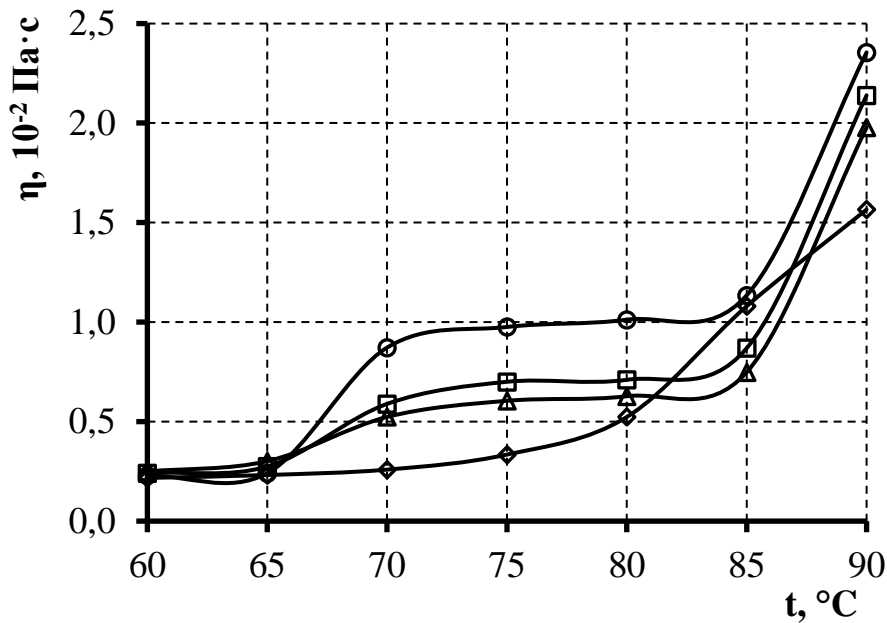
Літературні дані свідчать, що концентрація цукру в солодких стравах коливається від 5,0 до 20,0 %, що забезпечує гарні споживчі характеристики.

Відомо, що цукор володіє структуроутворюючою здатністю, яка заснована на властивості розчинів сахарози поступово змінювати в'язкість системи за зміни температури, при цьому не змінюючи фазового стану. Внесення сахарози та інших цукрів до систем на основі крохмалю збільшує температуру клейстеризації та ускладнює набрякання зерен крохмалю, а за високої концентрації цукру зерна взагалі погано набрякають. У випадку пшеничного крохмалю при додаванні цукру відбувається зниження активності води, що призводить до підвищення температури клейстеризації.

Так, при внесенні цукру до модельної системи «пшеничний крохмаль-Твін 20» у діапазоні температур 65...70 °С спостерігали збільшення показників в'язкості у 2...2,3 рази за вмісту 5,0 та 10,0 % і в 3,4 – за вмісту 20,0 % цукру (мал. 18). Показники в'язкості становили $(0,23...0,3) \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$ за температури 65 °С та $(0,52...0,59) \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$ і $(0,87 \pm 0,04) \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$ за температури 70 °С відповідно. Слід зазначити, що різке збільшення показників в'язкості спостерігали в діапазоні температур 85...90 °С.

Отримані результати свідчать, що встановлені науковцями закономірності щодо впливу цукру на крохмальну суспензію за теплової обробки: підвищення температури клейстеризації та збільшення максимальної в'язкості, характерні і для системи «пшеничний крохмаль-Твін 20». За вмісту цукру 20,0 % спостерігали найбільші показники ефективної в'язкості починаючи з 66 °С (за температури 70 °С в'язкість становила – $(0,87 \pm 0,04) \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$, а за 90 °С – $(2,4 \pm 0,12) \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$, тоді як в'язкість системи без цукру – $(0,26 \pm 0,01) \cdot 10^{-2}$ та $(1,6 \pm 0,08) \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$ відповідно). Очевидно, на початку процесу клейстеризації сахароза уповільнює процес набрякання зерен крохмалю у водній суспензії за рахунок збільшення вмісту сухих речовин у системі, що стримує початок наростання в'язкості в діапазоні температур 60...65 °С.

Дослідження поведінки модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» в присутності цукру на амілографі Брабендера показали схожі закономірності зміни ефективної в'язкості.

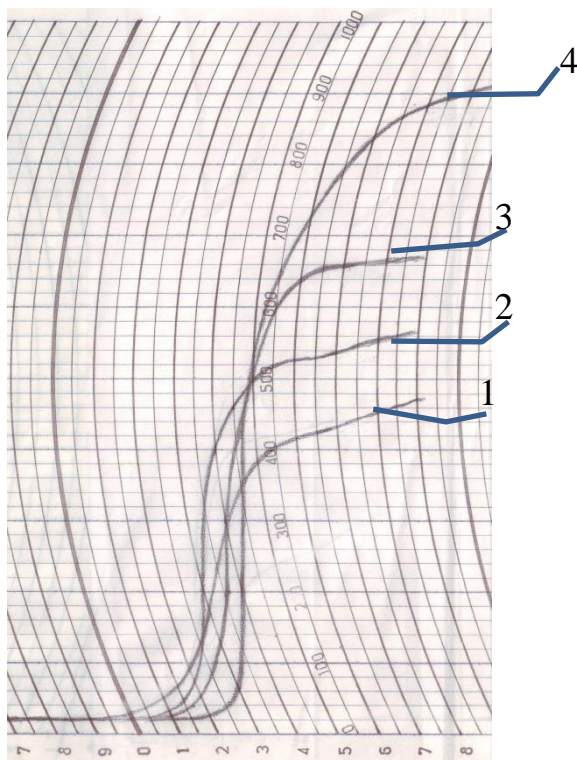


Малюнок 18. Зміни ефективної в'язкості модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» від температури обробки за концентрації цукру, %:

◇ – 0; Δ – 5,0; □ – 10,0; ○ – 20,0

Внесення цукру до систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» уповільнює початок процесу клейстеризації на $(1..3) \cdot 60$ с, тобто на $1,5...4,5^\circ\text{C}$, а отже сприяє підвищенню її початкової температури. При збільшенні концентрації цукру в системі набрякання зерен крохмалю на початку нагрівання відбувається повільно, а після досягнення температури, яка сприяє проникненню води в середину зерна та його розпаковці, процес відбувається інтенсивніше, тим самим збільшуючи значення максимального піку в'язкості: за концентрації цукру $5,0...10,0\%$ в'язкість збільшується у $1,3...1,5$ рази, а за $20,0\%$ – у $2,1$ рази порівнянні з системами без цукру.

Таким чином встановлено, що внесення цукру до модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» на початку процесу клейстеризації буде уповільнювати ріст в'язкості, а на заключному етапі буде сприяти фіксації структури за рахунок наростання в'язкості та унеможливилюватиме руйнування піни через стікання рідини по каналам Плато.

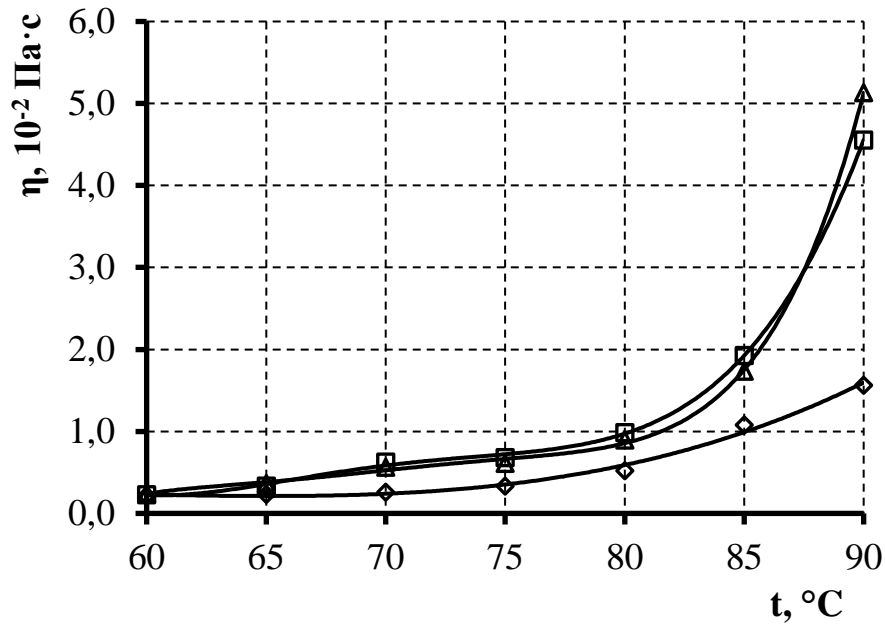


Малюнок 19. Амілограми зміни в'язкості модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» за концентрації цукру, %: 1 – 0; 2 – 5,0; 3 – 10,0; 4 – 20,0

Виходячи з показників в'язкості й органолептичних характеристик продукції, що розробляється, найбільш прийнятною концентрацією цукру в системі було обрано 10,0%. З літературних даних відомо, що перебіг процесу клейстеризації крохмалю залежить від значень рН: навіть невелика зміна кислотності може призвести до сильно виражених змін в процесі утворення ОКД.

Оскільки в рецептурах мусів використовується плодово-ягідна чи овочева сировина, яка характеризується певними показниками рН, було змодельовано харчову систему, в якій властивості даної сировини виконувала лимонна кислота. Вміст лимонної кислоти варіювали у діапазоні 0...1,0 %, який обирали в перерахунку відповідно до рН плодово-ягідної сировини, що передбачається у рецептурному складі мусів (мал.20).

Результати з визначення ефективної в'язкості модельних систем «пшеничний крохмаль-Твін 20» в присутності лимонної кислоти показали незначне збільшення показників, яке спостерігали вже за температури $65 \pm 2^\circ\text{C}$.

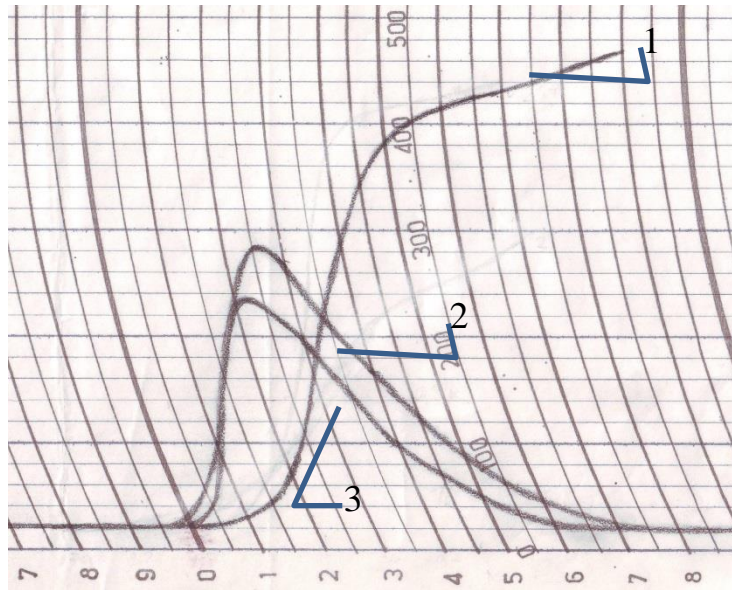


Малюнок 20. Зміни ефективної в'язкості модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» від температури обробки за концентрації лимонної кислоти, %: \diamond – 0; Δ – 0,5; \square – 1,0

Так, за 70 °C значення збільшилися вдвічі, зберігаючи таку тенденцію до 85±2°C. За температури 90°C найбільшою в'язкістю характеризувалася модельна система з концентрацією кислоти 0,5% значення якої становили $(5,1 \pm 0,25) \cdot 10^{-2}$ Па·с, в той час як значення в'язкості системи без кислоти складало $(1,6 \pm 0,08) \cdot 10^{-2}$ Па·с.

Амілографічні дослідження поведінки модельних систем «пшеничний крохмаль-Твін 20» під впливом лимонної кислоти (мал. 21) встановили, що процес клейстеризації в системах починається раніше та відбувається інтенсивніше зі значним збільшенням в'язкості в присутності кислоти, проте досягнувши температури гідролізу в'язкість починає швидко зменшуватись. Так для систем «пшеничний крохмаль-Твін 20-лимонна кислота» такою температурою є 92...93°C. Збільшення концентрації кислоти сприяє зменшенню температури початку клейстеризації та величину максимальної в'язкості. Таку поведінку можна пояснити гідролітичною дією кислоти, що руйнує структуру крохмального зерна, сприяючи вільному проникненню молекул води в середину

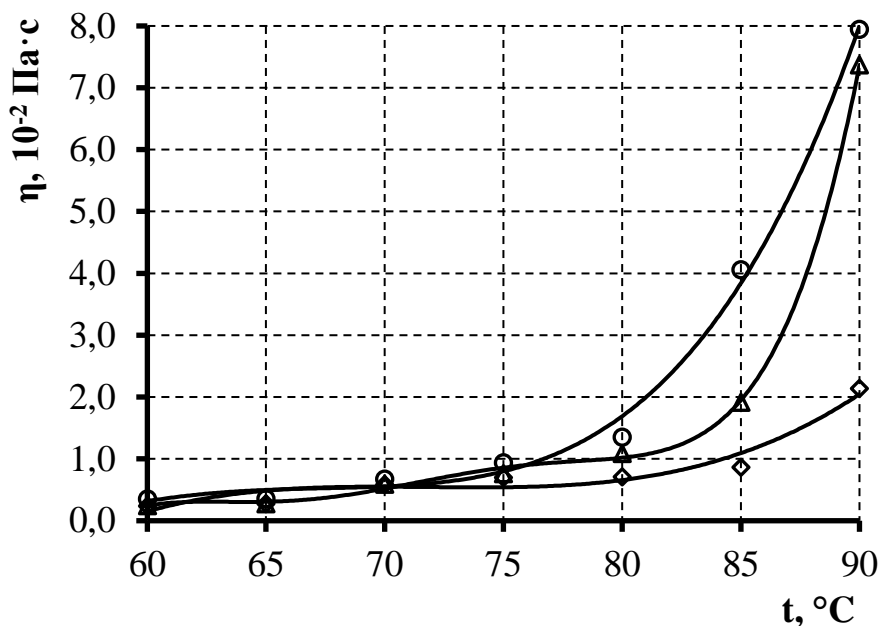
зерна та, відповідно, більш швидкому його набряканню – чим більша концентрація кислоти, тим інтенсивніше відбувається набрякання.



Малюнок 21. Амілограми зміни в'язкості модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» за концентрації лимонної кислоти, %: 1 – 0; 2– 0,5; 3– 1,0

Для обґрунтування рецептурного складу мусів досліджено сумісний вплив рецептурних компонентів на поведінку ефективної в'язкості модельної системи «пшеничний крохмаль – Твін 20» за вмісту цукру 10,0% та лимонної кислоти в діапазоні 0...1,0 % (мал. 22).

Дослідження поведінки в'язкості модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20 – цукор» в присутності лимонної кислоти на амілографі Брабендера виявило, що на характер кривих найбільше впливає зміна рН (мал. 23). Встановлено, що присутність цукру в системах «пшеничний крохмаль – Твін 20 – лимонна кислота» сприяє збільшенню показників максимальної в'язкості у порівнянні з системами без цукру приблизно на 100 од.Браб., і становить 320...380 од.Браб., в той час як максимальна в'язкість системи «пшеничний крохмаль – Твін 20 – цукор» за концентрації останнього 10,0% складає приблизно 660 ± 33 од.Браб.



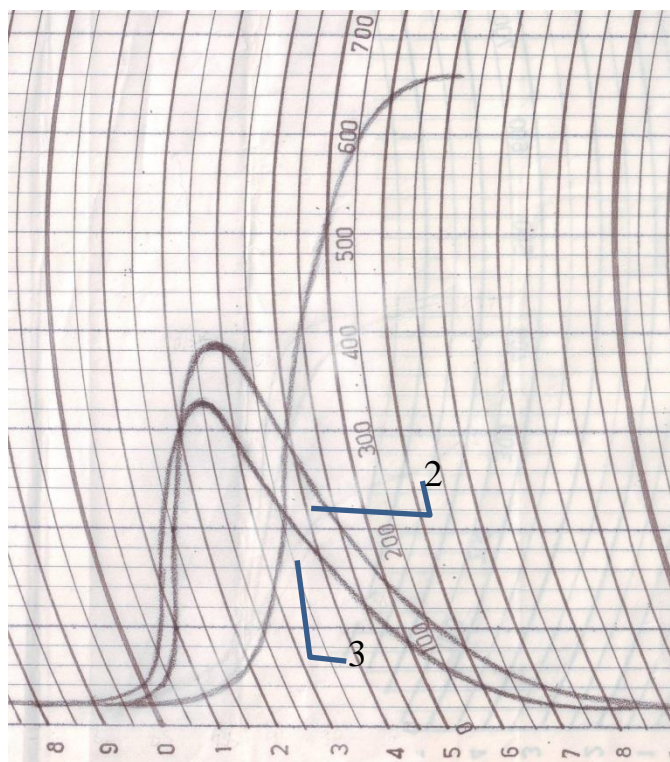
Малюнок 22. Зміни ефективної в'язкості модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20 – цукор» від температури обробки за концентрації лимонної кислоти, %: ◇ – 0; Δ – 0,5; ○ – 1,0

Відмічено, що зменшення показників в'язкості під впливом кислоти найбільші за температури 92...93°C.

Таким чином, можна припустити, що під руйнівною дією лимонної кислоти зерна крохмалю починають раніше й інтенсивніше взаємодіяти з молекулами води та цукру, тим самим швидше збільшуватися у своїх розмірах, що, в свою чергу, призводить до збільшення значень в'язкості.

Слід зазначити, що присутність в модельній системі цукру та лимонної кислоти сприяє підвищенню показників в'язкості, що не суперечить даним наукової літератури. Важливим моментом є практично сталі показники в'язкості в діапазоні температур 60...70°C, що дозволяє реалізувати інноваційний задум.

Для визначення умов утворення піноподібних систем стійких у часі необхідним є дослідження поведінки рецептурних компонентів. Відомо, що зміна в'язкості піноподібних мас сприяє змінам показників структури і тим самим впливає на їх якість. Слід також зазначити, що в'язкість дисперсійного середовища досить тісно пов'язана з температурним фактором.

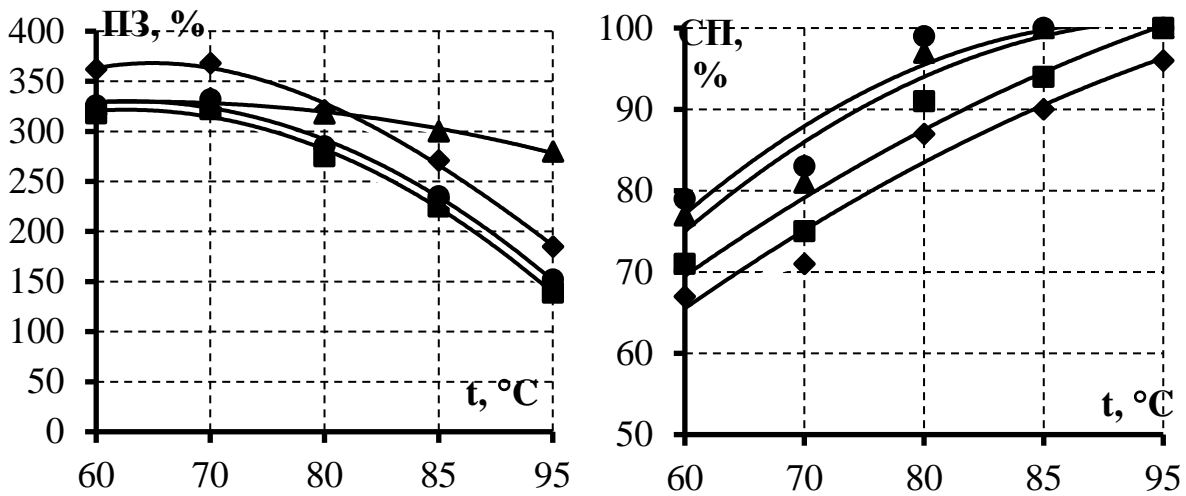


Малюнок 23. Амїлограми зміни в'язкості модельних систем
«пшеничний крохмаль–Твін 20–цукор» за концентрації лимонної кислоти, %:
1 – 0; 2– 0,5; 3– 1,0

Так як до рецептур збитих десертів, як правило, входить цукор, із зростанням концентрації якого збільшується в'язкість рідини в плівках піни, то сповільнюється їх руйнування і підвищується стабільність. Але здатність цукру підвищувати поверхневий натяг розчинів значно ускладнює процес піноутворення. Тому саме від температури залежить, яким буде вплив цукру на піноутворюючу здатність розчинів.

Вплив цукру виявляється у зв'язуванні вологи і відповідно збільшенні в'язкості системи, яка сприяє підвищенню стійкості піни, обумовлено дегідратуючим ефектом сахарози. Встановлено, що піноутворююча здатність за різного вмісту цукру від температури має екстремальний характер, за якого значення ПЗ коливаються в діапазоні 320...145 %, і лише для системи за вмісту цукру 10,0 % (мал. 24, крива – ▲) характерна більш лінійна залежність, за якої значення ПЗ становлять 280...330%. Натомість залежність стійкості піни від

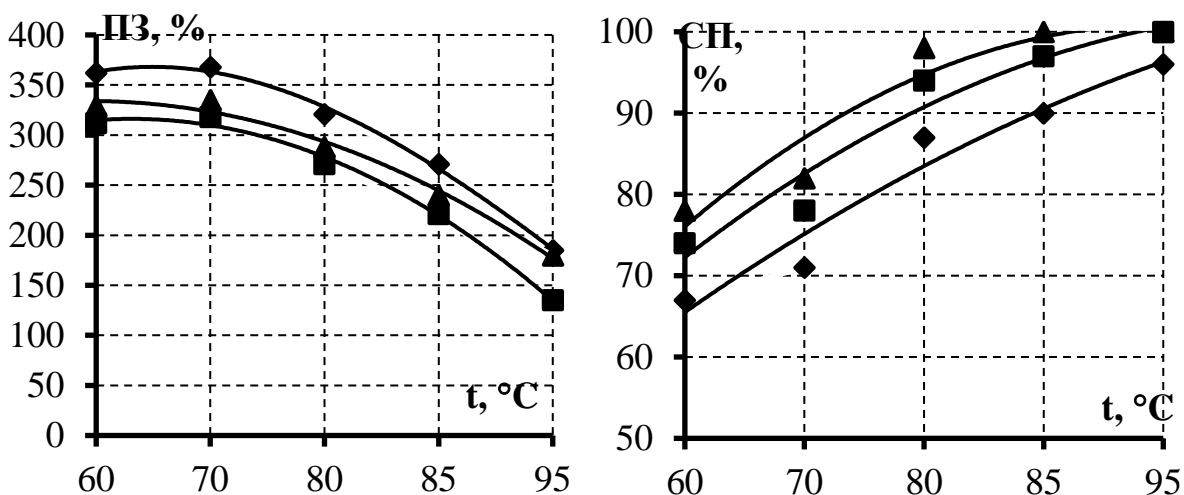
температури характеризується майже лінійною залежністю: СП зростає за збільшення температури та концентрації цукру в системі (мал. 24).



Малюнок 24. Піноутворююча здатність та стійкість піни модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» за температури обробки від концентрації цукру, %: \blacklozenge – 0; \blacksquare – 5,0; \blacktriangle – 10,0; \bullet – 20,0

Відомо, що певну роль в утворенні та стабілізації піни відіграє рН середовища яке забезпечується присутністю у харчових системах рецептурних компонентів, що характеризуються значним вмістом кислот. Відповідно до літературних даних ПЗ неіоногенних ПАВ, до яких належить Твін 20, не залежить від рН в інтервалі від 3 до 9, однак дослідження в'язкості модельних систем з лимонною кислотою встановили наростання в'язкості, що може вплинути на показники ПЗ та СП. Встановлено, що ПЗ модельних систем за різного вмісту лимонної кислоти (мал. 25) відрізняється незначно, знаходячись на рівні 310...335% за температури 60...70 °С та 135...180% за температури 95°С. Для показників стійкості піни характерні схожі залежності.

На основі отриманих даних можна стверджувати, що складові модельних систем та їх взаємодія між собою чинять істотний вплив на в'язкість, що, в свою чергу, впливає на показники піноутворюючої здатності та стійкості піни.



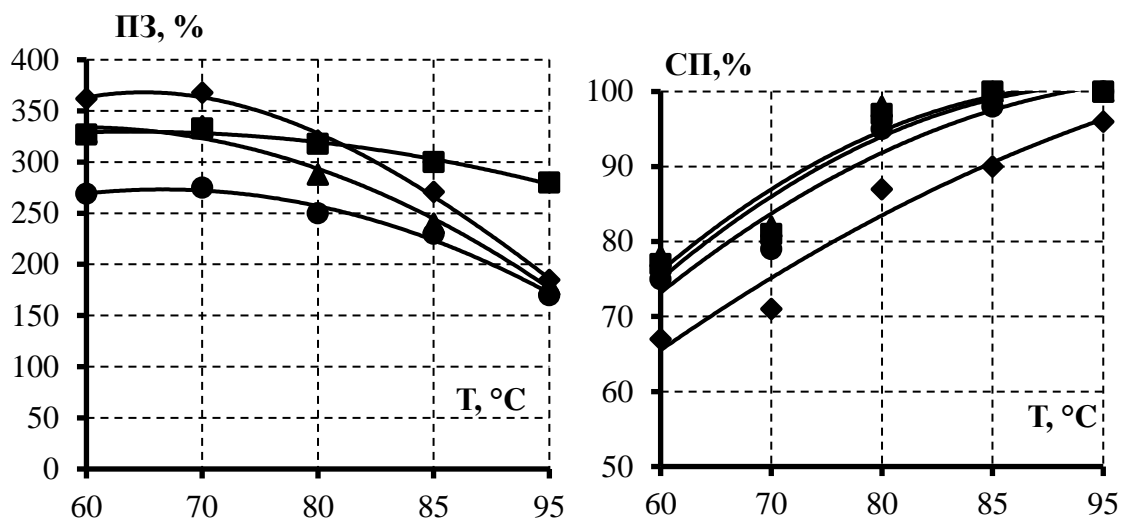
Малюнок 25. Піноутворююча здатність та стійкість піни модельних систем «пшеничний крохмаль - Твін 20» за температури обробки від концентрації лимонної кислоти, %: ◆ – 0; ■ – 0,5; ▲ – 1,0

Досліджено поведінку багатокомпонентної системи (мал. 26) з точки зору піноутворюючої здатності та стійкості піни з метою можливості її регулювання.

Встановлено, що присутність цукру в модельній системі сприяє зменшенню показника ПЗ до 330...320% в діапазоні температур 60...80°C порівняно з аналогом (без цукру), значення якого знаходяться на рівні 360...330%. Лимонна кислота також здійснює негативний вплив на ПЗ модельної системи, сумісна дія якої з цукром призводить до отримання показників ПЗ на рівні 276...250%.

Дослідження СП вищезазначеної модельної систем свідчить про позитивний вплив цукру та лимонної кислоти на показники СП, які вже за температури обробки 85°C становлять 100%.

Проведені експериментальні дослідження довели можливість сумісного використання Твін 20 разом з пшеничним крохмалем, які виконують роль піноутворювача та стабілізатора системи. Це стало можливо завдяки унікальній властивості крохмалю за гідротермообробки утворювати колоїдні дисперсії (клейстер) під впливом певних температур.



Малюнок 26. Піноутворююча здатність та стійкість піни модельних систем «пшеничний крохмаль - Твін 20» за температури обробки від концентрації, %: цукру \blacklozenge – 0, \blacksquare – 10,0; лимонної кислоти \blacktriangle – 1,0; \bullet – цукру та лимонної кислоти

За цих умов ступінь гідратації крохмальних дисперсій різний, тобто за знижених температур (60...65°C) 14,0% крохмальна дисперсія характеризується показниками ПЗ на рівні 6,0%, що дозволяє реалізувати технологію мусів з використанням пшеничного крохмалю.

З метою стабілізації пінної системи необхідно здійснити її додаткове нагрівання до температури $85\pm 2^\circ\text{C}$, що призведе до клейстеризації решти крохмалю з досягненням ефекту концентраційної стабілізації піни. За цих умов технологічний процес є неперервним, дозволяє реалізувати його в умовах індустріального виробництва та отримати продукцію стабільної якості з пролонгованим терміном зберігання.

Розроблені муси є продукцією тривалого зберігання, яку можна реалізувати як в закладах РГ, так і на підприємствах харчової промисловості. Технологія отримання мусів з використанням пшеничного крохмалю являє собою цілісну систему, в межах якої виділено підсистеми – D, C, B, A, функціонування яких спрямовано на отримання готового продукту відповідної якості.

Підсистема D «Приймання сировини та підготовка рецептурних компонентів» передбачає приймання сировини за масою та її вхідний контроль відповідно до вимог діючих нормативних документів, сухі інгредієнти просіюють, плодове чи овочеve пюре звільнюють від тари та дозують відповідно до рецептури.

Підсистема C «Одержання рецептурної суміші» передбачає з'єднання та перемішування попередньо підготовлених інгредієнтів з метою отримання рецептурної суміші.

Підсистема B «Формування споживчих характеристик мусів» передбачає послідовне виконання операцій з обробки сировини. На першій стадії здійснюють нагрівання рецептурної суміші до температури $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ при постійному перемішуванні та збивання за цієї температури, що забезпечує високі показники піноутворюючої здатності. На другій стадії продовжують нагрівання рецептурної суміші до температури $85\pm 2^{\circ}\text{C}$ (при перемішуванні), що сприяє її стабілізації за рахунок процесу клейстеризації пшеничного крохмалю. Для забезпечення мікробіологічної стабільності та стійкості у часі рецептурну суміш піддають пастеризації за температури $95\pm 2^{\circ}\text{C}$ протягом 10х60 с.

Підсистема A «Одержання мусу» передбачає отримання кінцевого продукту – мусу з використанням пшеничного крохмалю з визначеними органолептичними та фізико-хімічними характеристиками, які є сталими протягом визначеного часу зберігання.

Проведені дослідження дозволили розробити рецептурний склад (табл. 8) та технологічний процес виробництва мусів тривалого зберігання (мал. 27).

Плодові та овочеві муси з використанням пшеничного крохмалю є новим видом харчової продукції з піноподібною структурою, яка характеризується тривалим терміном зберігання. Враховуючи цей факт визначено органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні та показники безпечності готової продукції.

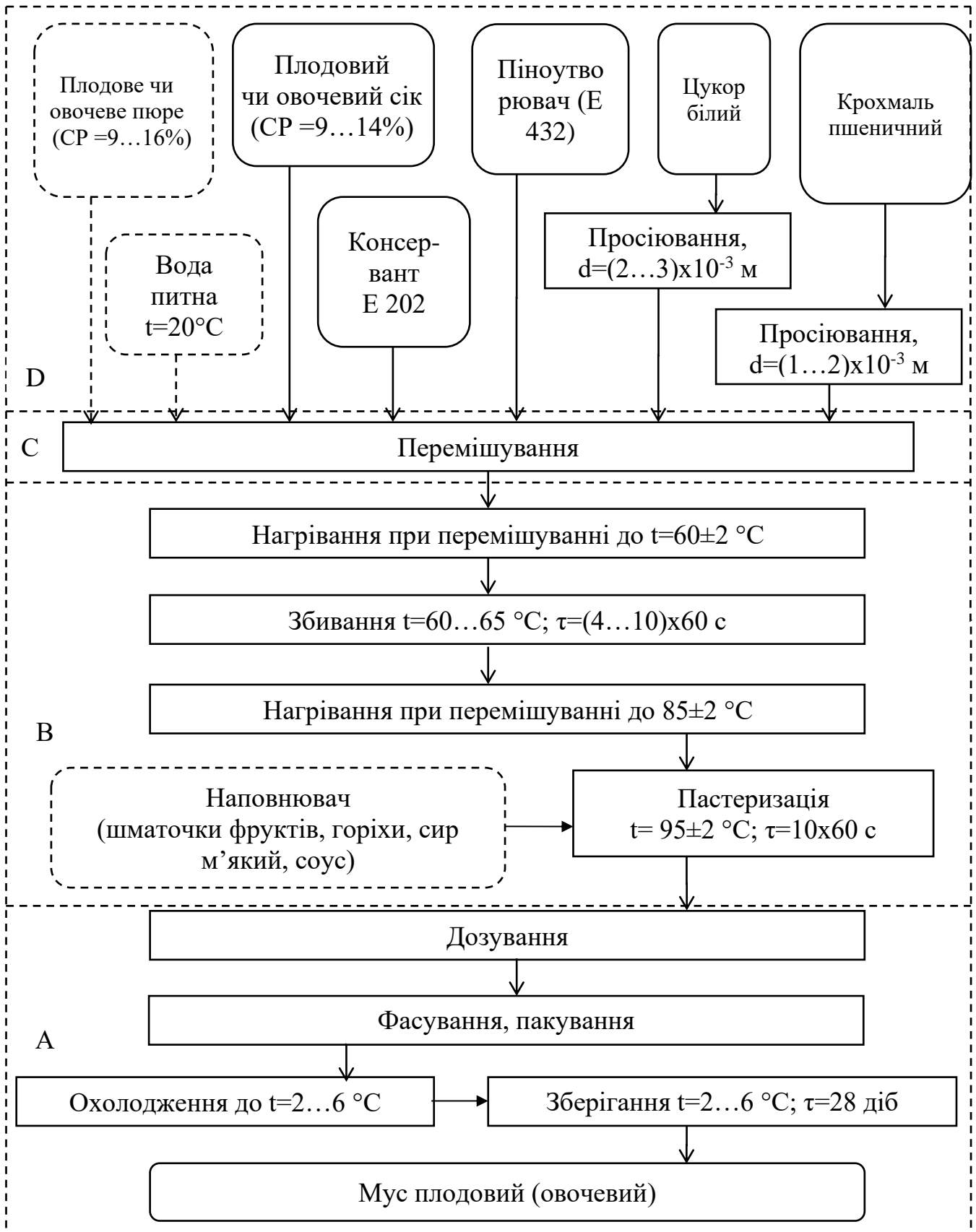
Рецептурний склад мусів з використанням пшеничного крохмалю

Найменування сировини	Витрати сировини на 1000 г готового продукту, г			
	Мус апельсиновий		Мус морквяний	
	брутто	нетто	брутто	нетто
1	2	3	4	5
Сік або пюре плодове / овочеve	797,86* ¹	795,38	267,68* ²	262,5
Вода питна	-	-	574,71	574,88
Крохмаль пшеничний	147,71	147	105,5	105
Цукор білий	105,51	105	105,5	105
Полюксіетиленсорбітанмонолаурат (E432, Твін 20)	2,62	2,63	2,62	2,63
Сорбат калію (E202)	0,5	0,5	0,5	0,5
Всього	1053,7	1050	1056	1050
Вихід	-	1000	-	1000

*¹ – маса соку, *² – маса пюре

Дослідження показників якості та безпечності нової продукції здійснено на прикладі мусу «Апельсиновий» (виготовленого на основі соку) та мусу «Морквяний» (виготовленого на основі пюре). Дані наведено в табл. 9.

Для визначення органолептичних показників розроблено шкалу їх оцінки (табл. 10)



Малюнок 27. Технологічна схема виробництва мусів з використанням пшеничного крохмалю

Таблиця 9

Органолептичні показники мусів з використанням пшеничного крохмалю

Найменування показників	Найменування мусів	
	Апельсиновий	Морквяний
1	2	3
Зовнішній вигляд	ніжна, дрібнопориста, пишна і злегка пружна маса	ніжна, дрібнопориста, пишна і злегка пружна маса
Консистенція	піноподібна, дрібнопориста, однорідна по всій масі, нетекуча, стійка	піноподібна, дрібнопориста, однорідна по всій масі, нетекуча, стійка
Колір	однорідний, відповідний кольору апельсина. Однорідний за об'ємом	однорідний, відповідний кольору моркви. Однорідний за об'ємом
Запах, смак	властиві апельсину. Приємний смак від солодкого до кисло-солодкого. Не допускаються сторонні присмак і запах	властиві моркви. Приємний смак від солодкого до кисло-солодкого. Не допускаються сторонні присмак і запах

Таблиця 10

Шкала загальної органолептичної оцінки мусів з використанням пшеничного крохмалю

Показник якості	Рівень якості, бал				
	5	4	3	2	1
1	2	3	4	5	6
Зовнішній вигляд	Ніжна, дрібнопориста, пишна і злегка пружна маса	Ніжна, пориста і пишна маса	Маса з неоднорідною пористістю	Маса з ознаками відділення вологи	Неоднорідна маса з відділенням вологи
Консистенція	Піноподібна, дрібнопориста, однорідна по всій масі, нетекуча, стійка	Піноподібна, дрібнопориста, з поодинокими великими порами маса, нетекуча, стійка	Пориста маса з великою кількістю неоднорідних пор, не текуча, стійка	Піноподібна, неоднорідна та мазеподібна маса	Неоднорідна, текуча, нестійка маса

Продовження таблиці 10

1	2	3	4	5	6
Колір	Однорідний, відповідний кольору сировини. Однорідний за об'ємом	Однорідний, відповідає кольору сировини	Неоднорідний за об'ємом, відповідає кольору сировини	Неоднорідний за об'ємом	Не відповідає кольору сировини
Запах	Властивий сировині. Не допускається сторонній запах	Властивий сировині	Властивий сировині, погано виражений	Властивий сировині, невиражений	Зі стороннім запахом
Смак	Приємний смак від солодкого до кисло-солодкого. Не допускається сторонній присмак	Приємний смак від солодкого до кисло-солодкого	Нейтральний або незбалансований смак	Неприємний, кислий смак	Зі стороннім присмаком

Визначено хімічний склад мусів з використанням пшеничного крохмалю (табл. 11). Установлено, що продукт характеризується масовою часткою вологи на рівні 65,84...78,46%, містить незначну кількість жиру (до $0,05 \pm 0,003$). Вміст білків та вуглеводів коливається в діапазоні 0,42...0,59% та 20,08...32,16% відповідно.

Досліджено мікробіологічні показники мусів (табл. 12). Визначено, що їх значення відповідають вимогам нормативних документів: протягом визначеного строку зберігання (28 діб) патогенні мікроорганізми, зокрема роду *Salmonella*, БГКП, *Staph.aureus*, *Proteus*, плісень та дріжджів не було ідентифіковано; кількість МАФМ склала 1×10^1 в 1 г, що не перевищує встановлених норм.

Таблиця 11

Хімічний склад мусів з використанням пшеничного крохмалю

Найменування показника	Вміст, %	
	мус «Апельсиновий»	мус «Морквяний»
1	2	3
Масова частка вологи, %	66,34±3,29	78,46±3,92
Масова частка жиру, %	-	0,05±0,003
Масова частка білків, %	0,59±0,03	0,42±0,02
Масова частка вуглеводів, %	32,16±1,61	20,08±1,00
Масова частка золи, %	0,25±0,01	0,44±0,02

Таблиця 12

Мікробіологічні показники мусів з використанням пшеничного крохмалю

Найменування показника	Значення показника	
	за нормативною документацією	фактичний вміст
1	2	3
Патогенні мікроорганізми, зокрема роду <i>Salmonella</i> в 25 г продукту	Не дозволено	Не виявлено
Мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроорганізми КУО в 1 г продукту, не більше ніж	1×10^3	1×10^1
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) в 1 г продукту (см ³)	Не дозволено	Не виявлено
<i>Staph.aureus</i> , в 1 г продукту (см ³)	Не дозволено	Не виявлено
<i>Proteus</i> , в 0,1 г продукту (см ³)	Не дозволено	Не виявлено
Кількість плісень, КУО в 1 г, не більше ніж	50	Не виявлено
Кількість дріжджів, КУО в 1 г, не більше ніж	50	Не виявлено

Результати токсикологічних досліджень свідчать, що розроблена продукція за показниками безпеки відповідає вимогам нормативної документації.

Дослідження змін органолептичних та мікробіологічних показників мусів з використанням пшеничного крохмалю, які відбуваються в процесі зберігання, проводили протягом 28 діб.

Муси в упакованому вигляді (у герметичній поліетиленовій упаковці) зберігали за температури $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ та відносної вологості повітря не більше 75%. Порівняння органолептичної оцінки та мікробіологічних показників мусів проводили в першу та двадцять восьму добу зберігання. Встановлено, що органолептичні показники впродовж зазначеного терміну зберігання характеризуються стабільними показниками кольору, смаку, запаху; консистенція ніжна, піноподібна, дрібнопориста з появою поодиноких великих пор. Визначено, що середній діаметр бульбашок повітря збільшився з $118,6\cdot 10^{-6}$ м до $130,67\cdot 10^{-6}$ м.

Дослідження мікробіологічних показників у процесі зберігання показало незначне збільшення кількості МАФМ з 1×10^1 до 1×10^2 в 1 г. Також на 14 добу з'явилися плісняви та дріжджі, кількість яких на 28 добу в 1 г не перевищила 10. Отже, можна констатувати, що протягом всього терміну зберігання мікробіологічні показники знаходилися в межах допустимих значень, регламентованих нормативною документацією.

Таких чином, проведені дослідження мікробіологічних показників підтверджують доцільність зберігання мусів з використанням пшеничного крохмалю за температури $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ та відносної вологості повітря не більше 75%, що забезпечує стабільні споживчі характеристики протягом 28 діб.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасного стану виробництва солодких страв з піноподібною структурою та використання в їх складі піно- та структуроутворювачів дозволив зробити висновок про перспективність та актуальність розробки технології мусів з використанням пшеничного крохмалю, що зумовлено необхідністю розширення асортименту даної групи продукції та збільшенням обсягів її виробництва з метою задоволення потреб споживачів.

2. Узагальнення існуючих теоретичних та експериментальних досліджень показали, що у науковій літературі відсутні дані щодо використання нативних крохмалів в якості піноутворювача та стабілізатора пінних систем, що визначило

необхідність проведення досліджень з метою отримання науково обґрунтованих механізмів одержання стабільних піноподібних систем з використанням пшеничного крохмалю.

3. Науково обґрунтовано закономірності одержання піноподібних систем з використанням пшеничного крохмалю й низькомолекулярних ПАР (Твін 20) та їх стабілізації з метою реалізації технології мусів промислового виробництва. Встановлено, що за величиною ПЗ (440%) та СП (89%) раціональним є використання Твін 20 в діапазоні 0,25...0,3 %, що дозволило отримати піноподібні системи з необхідними технологічними характеристиками.

4. Шляхом математичного моделювання визначено раціональний вміст рецептурних компонентів мусів: пшеничного крохмалю – 10,3 %, Твін 20 – 0,24 %, температура теплової обробки 60°C, що забезпечує збіту структуру мусів та її стабільність.

5. Досліджено характеристики оклейстеризованих крохмальних дисперсій та їх зміну під впливом технологічних чинників. Встановлено, що присутність в модельній системі цукру в діапазоні концентрацій 0...20,0% та лимонної кислоти в концентраціях 0...1,0% сприяє підвищенню показників в'язкості. Визначено, що в діапазоні температур 60...70°C спостерігаються сталі значення в'язкості на рівні $0,3 \pm 0,01 \cdot 10^{-2} \text{Па} \cdot \text{с}$, що дозволяє реалізувати інноваційний задум. Встановлено, що присутність 10,0% цукру та 1,0% лимонної кислоти в модельній системі сприяють зменшенню показника ПЗ, а їх сумісна дія призводить до отримання показників ПЗ на рівні 276...250%. Дослідження СП вищезазначеної модельної систем свідчить про позитивний вплив цукру та лимонної кислоти на показники СП, які вже за температури обробки 85°C становлять 100%.

6. Обґрунтовано закономірності стабілізації піноподібних систем з використанням пшеничного крохмалю. Встановлено, що внесення цукру до модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» на початку процесу клейстеризації уповільнює ріст в'язкості, а на заключному етапі сприяє фіксації структури за рахунок наростання в'язкості та унеможлиблює руйнування піни через стікання рідини по каналам Плато. Доведено, що за знижених температур

(60...65°C) 14,0% крохмальна дисперсія характеризується показниками ПЗ на рівні 6,0%, що дозволяє реалізувати технологію мусів з використанням пшеничного крохмалю.

7. Науково обґрунтовано та розроблено рецептурний склад і технологічну схему виробництва мусів плодових та овочевих, досліджено її функціонування як технологічної системи. Визначено основні показники якості та безпечності нової продукції, харчову цінність та їх зміни під час зберігання.

8. Розроблено та затверджено нормативну та технологічну (технологічна інструкція з виробництва мусів плодових та овочевих) документацію, що регламентує технологічний процес виробництва мусів з використанням пшеничного крохмалю. Досліджено основні показники якості та безпечності, обґрунтовано умови та терміни зберігання, які становлять 28 діб за температури $4\pm 2^\circ\text{C}$ та відносної вологості повітря не більше 75%.

SECTION 11. TERRITORIAL PLANNING AND URBANISATION

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.11.1

11.1 Territorial planning of regional development in Ukraine and the world: from history to the present

Regional planning in Ukraine as a type of design, conceptual, multidisciplinary scientific activity, as a process aimed at achieving effective connections between all spheres of life not only in individual cities but also in large territorial systems, which has always been aimed at improving settlement, rational use of the territory, improving the ecological state, and much more, has gone through a difficult evolutionary path. And this is the main argument of the urban planning priority, which is based on the historical hierarchical system of development.

Not only architects were interested in the interconnection of the territorial location of objects and the efficiency of their functioning, but in the nineteenth century, scientists raised this issue when they began to study the patterns of industrial and agricultural facilities in settlement systems.

Over time, the scientific modeling of systems of different levels has been improving: not only the spatial factor of location has been considered, but also the influence of economics, geography and sociology has been taken into account. A powerful impetus for the development of regional planning was the development of industry and the constant territorial conflict with agricultural production.

Urbanization has grown rapidly in recent decades. In 1970, approximately 34% of Europe's population lived in cities. And 40 years later, three-quarters of Europeans live in these areas: 42% of them live in cities, and the rest live in towns and suburbs [406]. As a result of this demographic growth, urban areas have expanded, leading to the conversion of adjacent agricultural areas into residential buildings. This gave rise to suburban areas that combine urban and rural features and include different types of landscapes, such as agricultural areas and consolidated and dispersed built-up urban areas.

These areas go beyond the urban administrative boundaries and cover several adjacent municipalities. Their spatial structures and processes of urban land use change reflect the intensity of urban-rural flows (commuting, migration, relocation of companies, regeneration of vacant spaces among urbanized and dispersed settlements) and take place in the context of a specific space [407].

The urban population in Ukraine has also grown from 28.1 million people in 1913 to 99.8 million in 1959. Housing construction is expanding in the cities, with dozens of new towns and hundreds of new settlements emerging, especially in new industrial areas. Railroads, highways, and utilities are being intensively built. At the local level, rural settlement is accompanied by the emergence of new MTS, farm complexes, elevators, vegetable storages, refrigerators, and primary processing enterprises [408].

In the context of such a powerful development, district planning faces a number of priority tasks, as shown in Figure 1.

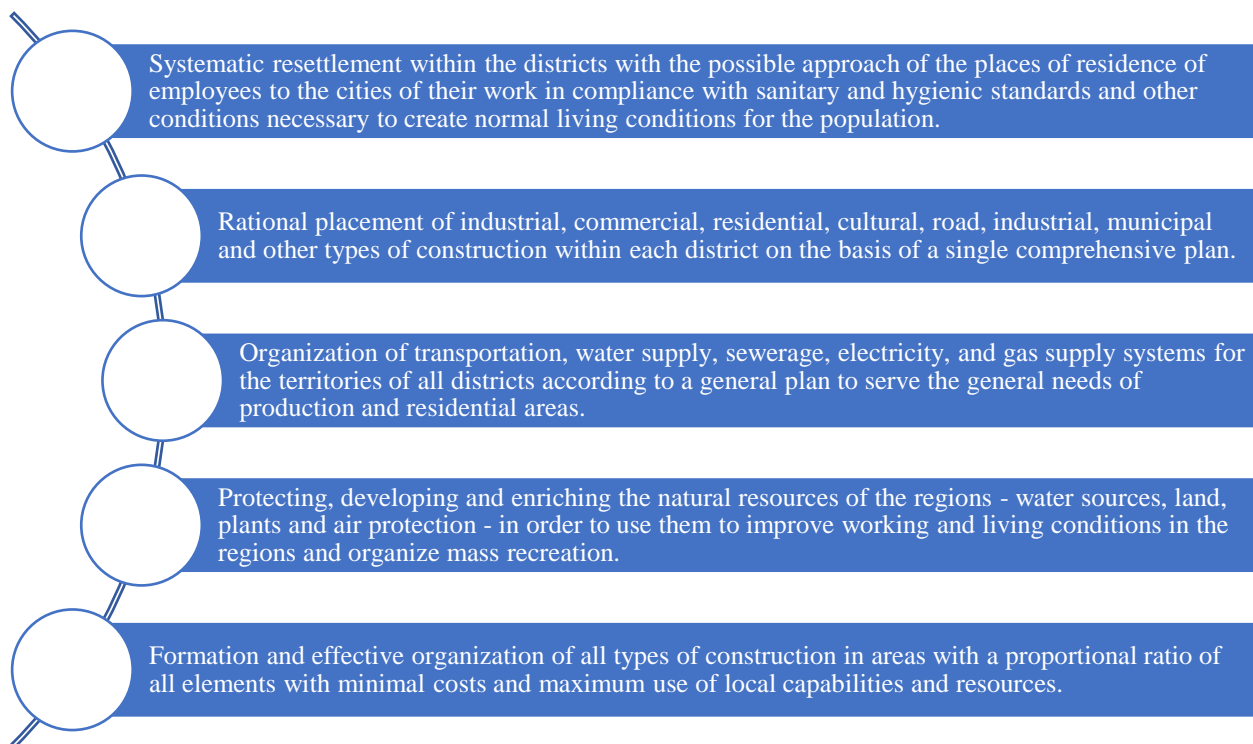


Figure 1. Tasks of effective development of territorial district planning

Source: Compiled by the author on the basis of [408]

The solution of these problems formulated the main goal of regional planning in this period. Regional planning is gaining great relevance and national importance.

Evaluating the previous period, experts emphasize a number of significant shortcomings in addressing regional planning issues. These include departmental dictates in the selection of locations for new production areas without taking into account the existing settlement system, significant costs for engineering training, lack of labor resources, difficulties with the construction of new housing and service systems, which worsened living conditions both in terms of sanitary and hygienic conditions and distance from workplaces [408].

The revival of Ukraine's independence fundamentally changed the priorities in planning and philosophy of spatial development of our country and created the necessary preconditions for the development of a national planning strategy at the national level, which consisted primarily in the implementation of the General Scheme of Planning the Territory of Ukraine (1998-2001).

The growth of urbanized areas has almost tripled over the past fifty years, forcing us to return to the problems of nature conservation, ecology, and restoring the natural potential for creating a healthy space for human existence. This issue makes us turn to the concept of an ecoregion.

At the local and regional levels, sustainable development planning is based on structural features that can be effectively described by referring to the concept of an eco-region [409], which has traditionally been associated with industrial production, but in the last few decades has been recognized as other activities, including tourism [410], food production [411], cultural offerings [412], and organic agriculture [413]. In the latter context, the concept of ecoregion (or bioregion) is used precisely to emphasize the territorial dimension. Indeed, ecoregions are usually associated with geographical areas characterized by common conditions that affect the economic, social and environmental performance and capabilities of an agricultural production system.

In this context, although ecoregions are gaining considerable relevance at the international level and there is a general agreement on the definition of the concept; what is lacking is a comprehensive methodological approach for their analytical identification that takes into account not only the biological and agricultural

characteristics of the "organic farming" of the territory, but also the dimensions that can revitalize and sustain the life of the ecoregion over time (mainly related to the environmental, social and economic characteristics of the region). This shortcoming affects the ability of policymakers to effectively identify areas that are suitable for entry into an ecoregion [414].

The Resolution on Approval of the State Strategy for Regional Development for 2021-2027 [415] pays great attention to planning the development of ecological regions of Ukraine, which can be seen in particular on the map of protected areas and objects.

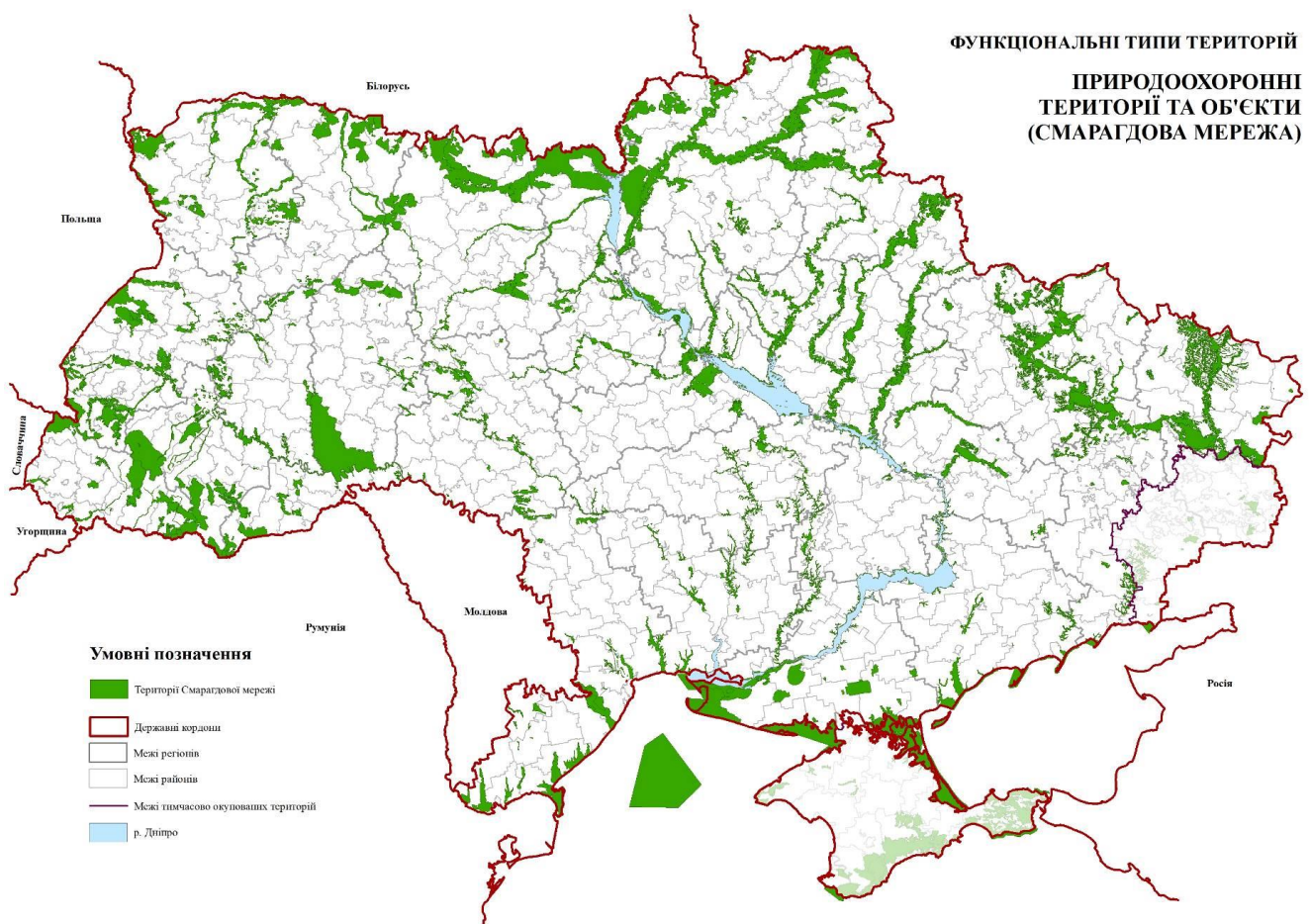


Figure 2. Map of protected areas in Ukraine [415]

According to the figure, the Emerald Network is a network that includes Areas of Special Conservation Interest (ASCI). The inclusion of territories in the Emerald Network is based on the so-called biogeographic approach. The biogeographical approach means that the assessment of the adequacy of the designated Emerald

Network areas for the long-term conservation of species and habitats is carried out within biogeographical regions.

In general, a region is considered to be a relatively large area of land that has geographical, political or cultural significance characteristics that distinguish it from other regions. In the European Union, for example, it is quite common to link a region to a nomenclature of territorial units for statistical purposes. As an example, in southern Portugal, the Algarve region is easily distinguishable from the Alentejo region to the north, due to its distinct (more mountainous) physical geography and culture (different dialects). In parallel, since the 1990s, these regions have formed alliances of cross-border cooperation with neighboring Spanish regions through the creation of cross-border entities (Euroregions, Eurocities, etc.). Thus, the development of a region implies a positive change in the region's development indicators over a certain period of time [416].

Going back to history, we should mention some key factors regarding the emergence and formation of regional planning as an independent research and project activity in the field of urban planning. Regional planning was established as a methodology for solving urban planning problems in territories that far exceeded the territories of existing cities and those that emerged in the early twentieth century. The first works on regional planning that became known to a wide range of specialists were: "the project of planning of the Paris district" within the Seine department (L. Jossely 1919), the project of district planning of the Ruhr region, with an area of 3.5 square kilometers and a population of 4 million people in Germany (1920), the project of planning of the Doncaster district in the UK by P. Abercrombie [408].

In the 50s of the twentieth century, the first positions in the methodology of district planning were taken by the Ukrainian School on the basis of the Dipromisto Institute. A new stage of settlement began in the 60s and 70s of the twentieth century, namely, a combination of research efforts in the field of urban planning, geography, economics, etc. The concept of "agglomeration", as an attempt to curb the growth of large cities, was initially severely criticized as promising, since the places of settlement

and industrial location were based only on the economic component, and all other territories were resource-based [417].

The uneven level of socio-economic development of the regions, which is especially deepening at the level of cities, towns, and villages, leads to an imbalance in the territory of Ukraine that threatens its integrity. The growth of territorial disparities in the level and quality of life of the population intensifies external and internal migration processes, which are practically uncontrollable, leads to an outflow of labor resources, especially from border and rural areas, mono-functional cities, and disrupts the settlement system. As a result, there is a growing gap between the center and remote areas, loss of control over them, further aggravation of the crisis in underdeveloped areas and their marginalization.

In order to prevent negative processes of territorial disproportion, territorial planning of regional development remains an urgent issue. The implementation of the state regional policy for the period up to 2027 stipulates that the object of regional policy is a territory characterized by a specific set of social, spatial, environmental and economic features. Measures to implement the state regional policy will be aimed at supporting potential centers of economic growth that can spread their positive impact on the development of neighboring territories and influence the development of the region as a whole, as well as at supporting integrated development projects for territories with special development problems, which should help reduce the level of interregional and intraregional asymmetry in the development of territorial communities and the quality of human life.

Previously, suburban areas were viewed as a product of the urbanization process, which begins with the growth of urban centers and affects rural areas in concentric areas of differential impact [418]. During the first phase of this process, demographic growth affects urban centers as people move there after migration from rural areas. In the second phase, it affects the entire urban agglomeration, as the increased costs of congestion in urban areas force people to move to the urban periphery. Later, during the next phase of counter-urbanization, both urban centers and suburbs experience population decline. The last phase, the reurbanization phase, sees a reverse trend [419].

Meanwhile, centrifugal force causes an explosion of urban areas in the surrounding suburbs, which involves the conversion of rural areas to urban needs, creating suburban areas. This transformation usually follows different spatial patterns; the most recurrent is the flow or leap from dense urban development to low-density and scattered development within agricultural areas [420]. Shortly afterward, centripetal force partially fills the vacant spaces among new suburban settlements [421].

This means that in the early stages, suburban expansion depends on demographic growth, while in later stages it reflects the spatial reorganization of the population.

However, urbanization is not just an urban process that results from a morphological transformation caused by changes in demographic flows. Starting in the mid-eighties and over the next decade, a comprehensive study of the forms of the city and its contemporary territory revealed widespread urbanization as the result of unprecedented processes that led to the emergence and maturation of spatial and social forms that should be studied with new attention. This happened because of a change in the collective model of reflection that led from a "plan" to "project-oriented" perspectives on managing territorial transformations and encouraged a deeper discussion of the relationship between society, economy, and territory [422]. This has prompted several scholars to investigate other drivers of these spatial patterns. Demographic dynamics remains the main and most discussed factor. However, other factors are considered equally important: urban migration, agricultural intensification, travel and infrastructure investment, industrialization, and changing views on desirable locations for specific production sites such as distribution centers, waste management infrastructures, and amenities, as well as different people's lifestyle preferences, housing dispersion, and housing market trends [423].

In addition, urbanization is not a linear process: deviations from the above paths are possible, which also affect small towns outside the city. Decentralization also encourages the participation of local stakeholders in territorial decision-making. Governance is actually seen as "the making of collectively binding decisions for a community within a community by government and other actors". This implies a shift in decision-making to other stakeholders in peri-urban areas, in addition to government

agencies. The list of other stakeholders includes all the institutions responsible for managing the territories within which the peri-urban areas extend, private citizens and associations, as well as new actors such as middle-class urban commuters, small urban farmers or industrial entrepreneurs who emerge with their specific requests and needs.

The speed of the transition to their full inclusion in decision-making depends on two factors. First, the willingness of local governments to hand over decision-making to citizens has proven to be a major factor in driving change in governance. Secondly, the commitment of local residents has a significant impact on the course of experiments, while social cohesion and tangible results strongly influence the degree and continuity of such commitment [423].

Strategic spatial planning is increasingly being practiced around the world to develop a synchronized vision to guide the medium- and long-term development of urban regions. Strategic spatial planning is also used as a response to economic and social challenges and to support structural change, for example, from an industrial to a service-oriented urban region. Strategic spatial planning includes both the stages of plan development and its implementation [424].

The literature defines the development of a strategic spatial plan as a social and collective process that brings many actors from the private and public sectors together to shape spatial dynamics, develop short-term actions, and define long-term visions and development strategies [425]. In addition, the development of a strategic plan allows for the generation, exchange, management, and use of various forms of popular and expert knowledge in a way that leads to more transparent and legitimate spatial interventions. In a number of important cases, the author [426] emphasizes the relational nature of strategic plan development processes. This relational nature implies interrelationships between many participants of knowledge sources, involvement of public and private interests within the territorial.

Thus, the development of a strategic spatial plan is about strategy-making as it is about designing cooperative networks at different levels of government and negotiating through which planning intentions, i.e. new housing developments, retail locations, transportation network improvements, public space maintenance or green

space expansion, etc., as well as the demands of interest groups are exchanged to ensure jointly achieved outcomes. Strategic spatial plans have the ability to improve human settlements and overall quality of life if the planning process is understood as a form of storytelling that involves more dynamic ways of decision-making, including coordination, legal frameworks, and local governance [427].

In Ukraine, the emphasis in regional territorial planning is also on economic development centers, which require significant attention and, with favorable changes, can become the main centers of attraction. Their territorial location on the map of Ukraine can be seen in Figure 3.

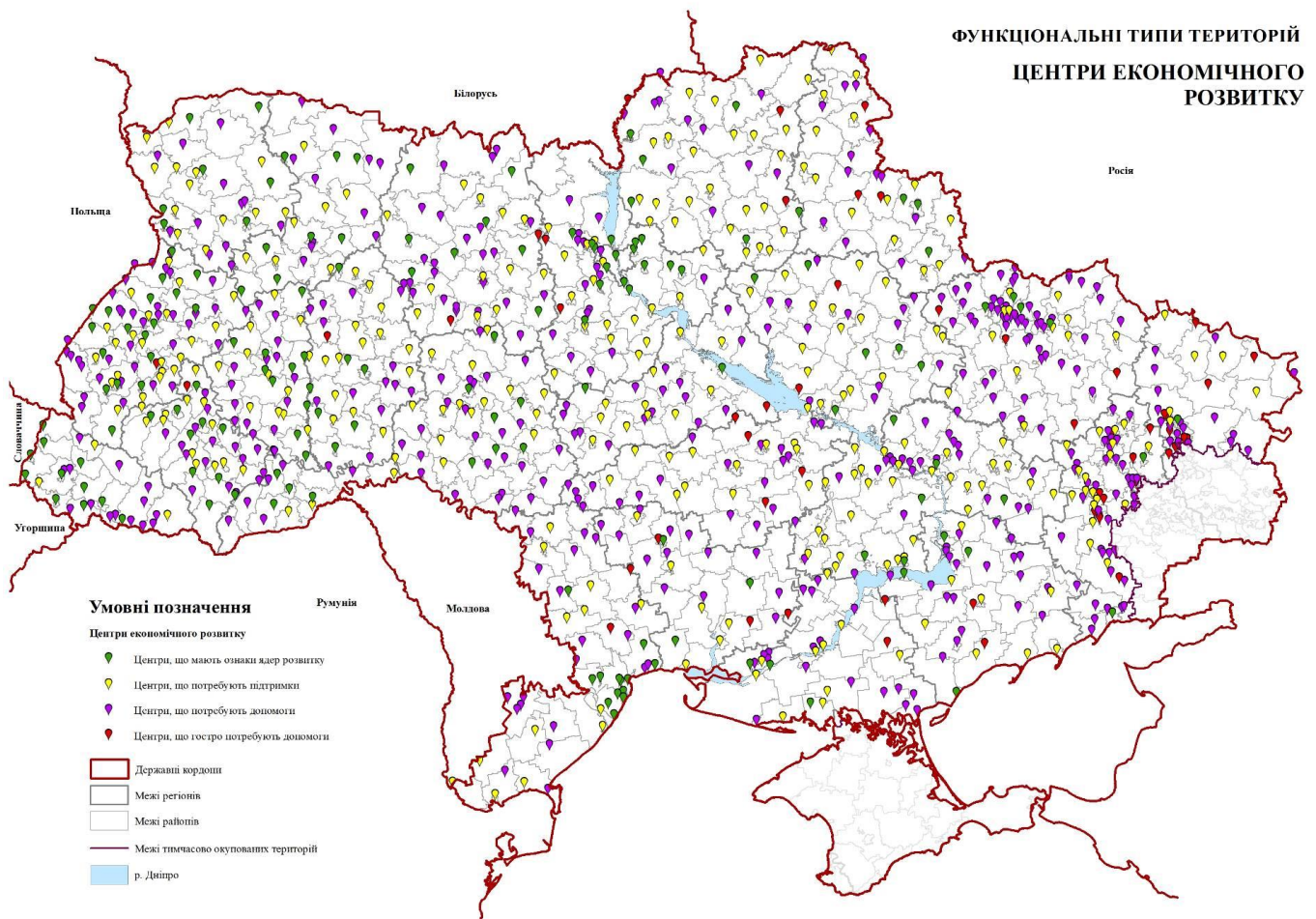


Figure 3. Map of designated territories of economic development centers of Ukraine (agglomerations, cities) [415]

The development of a basic-level territorial community is a key task for ensuring accelerated economic development in Ukraine. One of the main tasks of the

decentralization reform in Ukraine is to realize the potential of local self-government to generate appropriate resources and create conditions for the development of the territory. Planning is one of the basic tools for ensuring the development of the territory.

Today, strategic planning can become a driver, a basis for ensuring the competitiveness of the development of various territorial systems, including rural ones. Unlike classical methods, the result of strategic planning is a map of the future that visualizes the economic space and allows for consideration of alternative methods and ways to achieve the desired result. (The process of municipal strategic planning is dualistic, which is determined by the need to coordinate interest groups of key stakeholders in the mandatory interconnection of economic and social guidelines for rural development, laid down in the format of long-term planning.

Since territorial development is multidimensional, there are no single approaches to ensuring it. This process is influenced by spatial, urban planning, investment, environmental and other factors. Therefore, in order to substantiate the directions of territorial development, it is necessary to form a quantitative basis for making decisions on improving the efficiency of land management as an important factor in ensuring development at the regional level. In this framework, special attention is paid to the application of modern methods for identifying the influence of factors and identifying areas of territorial development based on the use of intelligent systems.

The first experience of integrated territorial planning and its strategic support in Ukraine and the accumulated international experience allow us to identify three areas of its focus. First of all, integrated development is seen as a consensus on community development, especially local economic development, between stakeholders. It is achieved through participatory planning and implementation of planned activities [428] and a well-established dialogue between stakeholders as the basis for local development policy formation. Most researchers point to the difficulties of real and effective practice of implementing integrated planning and planning activities for specific areas of space.

The second approach interprets integrated development in a format close to sustainable and comprehensive development. Here, it is important to balance the

community's territory at the local level of economic development, public services and social security. The main attention is paid to the preservation of the environment [429]. Resource management and community planning become the main tools for achieving integration in this coordinate system.

Finally, the third approach represents an awareness of the importance of space and its varieties and diversity in the formation of the territory, which geographers define as a combination of development potential and a multitude of resources in the form of a single territorial resource. Different geographical concepts and approaches provide the basis for strategic planning of integrated development through the coordination of territorial centers, axes of advanced development within the community. Internal differences and polarization of development are determined by geographical factors, historical experience, and functional features of individual parts of the territory; the center-periphery model is used to analyze differences in the development of individual parts of the territory at different hierarchical levels and is effective for planning activities.

Territory planning and determining their future development paths is an extremely important issue and task for territorial units of any level. In particular, "...territory planning does not just serve socio-economic developments, but sets and develops the planning organization of the region, oblast, district as a whole, in the conditions of economic, social, environmental competition of various industries and activities, in the context of the implementation of a comprehensive plan for the territorial development of regions and administrative-territorial units" [430]. Strategic planning should first of all take into account the interests and aspirations of the population of a particular territorial community, their system of values, infrastructure, existing business and opportunities for its growth (starting a new one), local resources, problems, etc. When planning the development of territories, it is necessary to take into account the widest possible range of indicators of social and economic life of the population, to take into account the current situation fully and only on the basis of reliable empirical data, as well as the results of using participatory methods, to develop possible development scenarios and propose measures to achieve these goals [431].

Meanwhile, there are challenges to urban planning today:



Figure 4. List of the main challenges facing urban planning today

Source: Compiled by the author on the basis of [417].

The strategic vision of regional development and the state as a whole is to create sufficient conditions for comfortable living, self-realization and development of citizens, and improve the quality of their lives in each region. The state regional policy assists each region and territorial community in the effective use of their potential, advantages, resources and opportunities for development and improvement of the quality of life, and thus for the development of the whole of Ukraine - an economically and environmentally stable, politically and socially cohesive state.

The strategic goal of the state regional policy until 2027 is human-centered development and unity - a decent life in a cohesive, decentralized, competitive and democratic Ukraine, ensuring the effective use of the internal potential of the territories and their specialization to achieve sustainable development of the country, which creates conditions for increasing the level of well-being and income of citizens while achieving cohesion in the social, humanitarian, economic, environmental and spatial dimensions.

The strategic goal of the state regional policy until 2027 is achieved on the basis of three strategic objectives:

I. Formation of a cohesive state in the social, humanitarian, economic, environmental, security and spatial dimensions.

II. Increasing the level of competitiveness of the regions.

III. Building effective multi-level governance.

The current extremely difficult situation once again forces us to make radical adjustments to the system of urban and regional planning. It is necessary to develop a new General Scheme of Settlement as the basic law for the development of all spheres of the country. This raises a number of questions from the standpoint of initial resource issues: what is the basis of economic development, how to organize migration processes, what will be the demography, social sphere, education, preservation, restoration, and eventual reconstruction of the destroyed, and so on. Therefore, the issue of territorial planning of regional development definitely requires attention and remains relevant, and research on this topic can significantly help in solving urgent problems.

SECTION 12. TRANSPORT

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.12.1

12.1 Визначення архітектурно-конструктивного типу бурових платформ для шельфу Азовського моря з урахуванням льодових навантажень

Успішне проектування нафтогазопромислових океанотехнічних систем, призначених для експлуатації на шельфі морів і океанів, залежить від достовірних методів розрахунку зовнішніх впливів, зокрема льодових навантажень. Зовнішні навантаження на океанотехнічні системи є основними факторами при виборі їх типів і конструктивних особливостей в процесі проектування з урахуванням природно-кліматичних умов конкретного району експлуатації. Об'єктивний розрахунок цих навантажень дозволить оптимізувати вартість таких споруд, які повинні успішно протистояти впливу вітрового хвилювання і дрейфуючих торосів в замерзаючих морях, забезпечуючи ефективну експлуатацію промислів і екологічну безпеку цілих регіонів. Діючі в даний час нормативні документи щодо визначення цих навантажень, не містять цілого ряду рекомендацій, які б враховували різні форми проєктованих споруд та ту різноманітність різних розрахункових сценаріїв, які можуть реалізуватися в процесі їх терміну служби. З цієї причини, розвиток існуючих і створення нових методів розрахунку льодових навантажень на океанотехнічні системи специфічних форм є досить актуальною проблемою.

Незважаючи на те, що в основному, існуючі бурові платформи — морські бурові платформи працюють цілком добре за умови правильного урахування дії льоду, виникає ряд проблем як технічного, так і економічного характеру, які викликані або необґрунтованими, або завищеними оцінками товщини льоду в районі їх установки [432]:

- Прогноз зміни товщини льоду, особливо з огляду на різкі кліматичні зміни в останнє десятиліття, підвищує безпеку експлуатації морських бурових платформ (МБП) та сприяє скороченню часу їх простою.

- Невірна орієнтація МБП в залежності від напрямку дрейфу льоду може призвести до невірного урахування розрахованої льодового навантаження.

- Розлом льоду навколо МБП є дуже важливим по відношенню до величини льодових навантажень.

Усі ці фактори беруться до уваги при розробці МБП, що працюють в складну льодову обстановку для того, щоб звести до мінімуму криголамну підтримку, з огляду на можливість опору дії льодового навантаження, яку буде зазнавати МБП з будь-якого напрямку.

Прогнозовані льодові умови використовуються для оцінки льодових навантажень на МБП і, отже, для оцінки життєздатності пропонованої конструкції платформи.

Таким чином, формалізація способу розв'язання задач аналізу впливу навантаження льоду на бурові платформи виявляється досить складною задачею. Разом з тим, вона диктується потребами автоматизації проектування систем на ЕОМ. Уже з цієї досить важливої причини виникає необхідність в пошуку інших підходів.

Застосування нейронних мереж до прогнозу товщини льоду полягає в розробці методів, що дозволяють визначити величину льодових навантажень на бурові платформи.

Штучні нейронні мережі або просто нейронні мережі часто розглядаються як мережі дублюючі обробку інформації нервової системи. Ранні роботи в зазначеній галузі були засновані на біологічних дослідженнях функцій мозку. У роботах [433, 434, 435] описані системи нейронів і правила навчання, заснованих на біологічних моделях. Сьогодні більшість нейронних мереж несуть тільки швидкоплинну схожість з природою мозкової або нервової систем. Схожість між сучасною нейронною мережею і головним мозком тварини лежить в ідеї виконання обчислень за допомогою паралельної взаємодії дуже великої кількості простих об'єктів.

Нейронні мережі використовуються в задачах розпізнавання образів, класифікації або апроксимації функцій [436, 437, 438, 439, 440, 441]. Як правило,

мережі буде запропоновано класифікувати вхідний шаблон, як той, що належить до одного з декількох різних можливих класів, або для отримання вихідного значення невідомої функції для одного або декількох вхідних значень. Принциповою особливістю нейронних мереж є їх здатність будувати зв'язок між входом і виходом мережі без чітко вираженого пояснення правила. Замість цього, вони регулюють їх внутрішні з'єднання, ґрунтуючись на ряді прикладів необхідного відображення, і потім використовують їх для узагальнення.

Існують різні типи нейронних мереж [442], кожна з яких має свої переваги і недоліки, залежно від задачі, що розглядається. Так, для задач класифікації і ряду інших додатків застосовується мережа прямого поширення, яка містить або одношаровий перцептрон, або багатошаровий перцептрон. Мережі прямого поширення характеризуються тим, що інформація, яка надходить на вхід, прямує строго вперед і прямує на вихід без зворотного зв'язку, тобто графи в зазначених мережах не мають петель. Мережі прямого поширення є статичними в тому сенсі, що на заданий вхід вони виробляють одну сукупність вихідних значень, що не залежать від попереднього стану мережі.

Переваги використання нейронних мереж.

Особливостями роботи нейронних мереж є, по-перше, розпаралелювання обробки інформації і, по-друге, здатність до самонавчання, тобто створювати узагальнення (здатність отримувати обґрунтований результат на підставі даних, які не зустрічалися в процесі навчання) [443]. Ці властивості дозволяють нейронним мережам вирішувати складні (масштабні) завдання, які на сьогоднішній день вважаються важковирішуваними.

Використання нейронних мереж забезпечує наступні корисні властивості систем.

1. Нелінійність. Нелінійність розподілена по мережі, є надзвичайно важливою властивістю, особливо якщо сам фізичний механізм, який відповідає за формування вхідного сигналу, теж є нелінійним.

2. Відображення вхідної інформації у вихідну. Однією з популярних парадигм навчання є навчання з учителем. Це передбачає зміну синаптичних ваг

на основі набору маркованих учбових прикладів. Кожен приклад складається з вхідного сигналу і відповідного йому бажаного відгуку. На цьому безлічі випадковим чином вибирається приклад, а нейронна мережа модифікує синаптичні ваги для мінімізації розбіжностей бажаного вихідного сигналу і формованого мережею відповідно до обраного статистичному критерію. При цьому власне модифікуються вільні параметри мережі. Це навчання проводиться до тих пір, поки зміни синаптичних ваг не стануть незначними. Таким чином, нейронна мережа навчається на прикладах, складаючи таблицю відповідностей вхід-вихід для конкретного завдання.

3. Адаптивність. Нейронні мережі мають здатність адаптувати свої синаптичні ваги до змін навколишнього середовища. Зокрема, нейронні мережі, навчені діяти в певному середовищі, можна легко перевчити для роботи в умовах незначних коливань параметрів середовища. Відомо, що чим вище адаптивні здібності системи, тим більш стійкою буде її робота в нестационарному середовищі. Для того щоб використовувати всі переваги адаптивності, основні параметри системи повинні бути досить стабільними, щоб можна було не враховувати зовнішні перешкоди, і досить гнучкими, щоб забезпечити реакцію на істотні зміни середовища.

4. Очевидність відповіді. У контексті завдання класифікації образу можна розробити нейронну мережу, що збирає інформацію не тільки для визначення конкретного класу, а й для збільшення вірогідності прийнятого рішення. Згодом ця інформація може використовуватися для виключення сумнівних рішень, що підвищить продуктивність нейронної мережі.

5. Контекстна інформація. Знання подаються у самій структурі нейронної мережі за допомогою її стану активації. Кожен нейрон мережі потенційно може бути схильний до впливу всіх інших її нейронів. Як наслідок, існування нейронної мережі безпосередньо пов'язано з контекстною інформацією.

6. Відмовостійкість. Це означає, що при несприятливих умовах їх продуктивність падає незначно. Незначне пошкодження структури ніколи не викликає катастрофічних наслідків. Це — очевидна перевага робастних

обчислень, однак її часто не враховують. Щоб гарантувати відмовостійкість роботи нейронної мережі, в алгоритми навчання потрібно закладати відповідні поправки.

7. Масштабованість. Паралельна структура нейронних мереж потенційно прискорює рішення деяких завдань і забезпечує масштабованість нейронних мереж в рамках технології VLSI (Very-large-scale integration). Одним з переваг технологій VLSI є можливість представити досить складну поведінку за допомогою ієрархічної структури.

8. Однаковість аналізу і проектування. Нейронні мережі є універсальним механізмом обробки інформації. Це означає, що одне і те ж проектне рішення нейронної мережі може використовуватися в багатьох предметних областях. Це властивість проявляється декількома способами.

- Нейрони в тій чи іншій формі є стандартними складовими частинами будь-якої нейронної мережі.
- Ця спільність дозволяє використовувати одні і ті ж теорії та алгоритми навчання в різних нейромережевих додатках.
- Модульні мережі можуть бути побудовані на основі інтеграції цілих модулів.

Як інструмент для прогнозування товщини льодових полів в даній роботі використовуються нейронні мережі: однопараметричні і багатофакторні. Використання цих мереж, як говорилося вище, дозволить оперативно і точно оцінювати товщини льодових утворень, що в свою чергу дозволить визначати величину льодового навантаження на океантоехнічне споруду. Перевагою застосування нейромережевих технологій є можливість прогнозувати товщину льодових утворень, як на найближчі години, так і на весь термін експлуатації бурової платформи. Цей прогноз є гнучким, при змінах вхідних параметрів буде змінюватися і прогнозована товщина.

У загальному вигляді алгоритм визначення величини льодових навантажень з урахуванням прогнозованої товщини льоду виглядає наступним чином:

1) На початковому етапі відбувається відбір і обробка статистичних даних фізичних параметрів, що впливають на формування льодових утворень.

2) Вибір типу нейронної мережі для аналізу параметрів льодових утворень (однопараметрична або багатопараметрична нейронні мережі).

3) Поділ статистичних даних на дві категорії: навчальна вибірка (за допомогою неї буде проводитися «тренування і навчання» мережі) і перевірочні дані (після отримання результатів за допомогою нейронної мережі, необхідно виконати верифікацію отриманих даних, порівнявши їх з реальними значеннями).

4) Підготовка статистичних даних до введення в нейронну мережу.

5) Виконання прогнозу.

6) Введення отриманих даних у відомі методики з визначення льодових навантажень на бурові платформи.

Розглянемо докладніше послідовність дій при прогнозуванні льодових утворень.

Для попередньої оцінки льодового навантаження можна використовувати однопараметричну нейронну мережу, яка прогнозує товщину льоду за статистичними даними товщини льоду, зібраних за деякий період. Для більш точного прогнозу і мінімізації помилки слід підібрати статистику з найбільшим числом даних.

Для оцінки льодового навантаження в конкретній точці експлуатації бурової платформи пропонується багатofакторна нейронна мережа, в якій в якості вхідних даних крім товщини льоду так само вносяться дані про температуру повітря, швидкості вітру, рівень моря і тип погодних умов, згідно з метеорологічним кодуванням.

Відповідно до рекомендацій, викладених в [444, 445, 446, 447], перед початком навчання мережі необхідно виконати попередню обробку даних, так званий підготовчий етап, який зводиться до масштабування або нормування вихідних даних. Для цієї мети можуть бути використані наступні функції (1), (2).

$$a_i' = \frac{a_i - M_a}{\sqrt{D_a}}, \quad (1)$$

$$\text{де } M_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i, \quad D_a = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - M_a)^2.$$

або співвідношення

$$a_i' = \frac{a_i - a_{i,\min}}{a_{i,\max} - a_{i,\min}}, \quad (2)$$

де $a_{i,\min}$ і $a_{i,\max}$ — відповідно мінімальне і максимальне значення параметра на всьому діапазоні можливих значень в рамках наявної вибірки.

Використання співвідношення (2) дозволяє виконати нормування параметра в діапазоні значень $[0 \dots 1]$. Таке нормування забезпечить кращу якість навчання і підвищить швидкість навчання нейронної мережі.

На наступному етапі необхідно розрахувати параметри майбутньої нейронної мережі. Число входів мережі (визначається числом факторів, які були обрані з набору статистичних даних) N_x ;

1) число виходів мережі (відповідно до структури мережі є тільки один вихід — оцінка значення товщини льоду) N_y ;

2) число навчальних вибірок (визначається як 75-80% від загального числа статистичних даних) Q .

Далі, на основі прийнятих значень параметрів мережі обчислюється необхідне число синаптичних ваг N_w за допомогою нерівності (3):

$$\frac{N_y Q}{1 + \log_2(Q)} \leq N_w \leq N_y \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y. \quad (3)$$

Після цього стає можливим обчислення необхідного числа нейронів прихованого шару за формулою (4)

$$N = \frac{N_w}{N_x + N_y}. \quad (4)$$

Також число нейронів прихованого шару можна визначити за допомогою нерівності (5) [448]

$$\frac{Q}{10} - N_x - N_y \leq N \leq \frac{Q}{2} - N_x - N_y. \quad (5)$$

Алгоритм послідовностей виконання дій при прогнозуванні товщини льодових утворень представлений на рисунку 1 у вигляді блок-схеми.

Однопараметрична нейронна мережа

Розглянемо нейронну мережу прямого поширення для реалізації алгоритму градієнтного походження, що дозволяє прогнозувати товщину морського льоду в Азовському морі, аналізуючи характеристику, що змінюється в часі і розрахунок оцінки навантаження.

У даній роботі розроблена модель нейронної мережі, в якій є три шари, в тому числі вхідний шар, прихований шар, і вихідний шар. Номер нейрона кожного шару n , m і l відповідно. Початкові ваги W_1 , W_2 , і пороги Θ_1 , Θ_2 , нейронної мережі генеруються за допомогою відповідності випадкової послідовності, як вихідних даних. Як функція активації між шарами нейронної мережі вибирається сігмовидна функція (6).

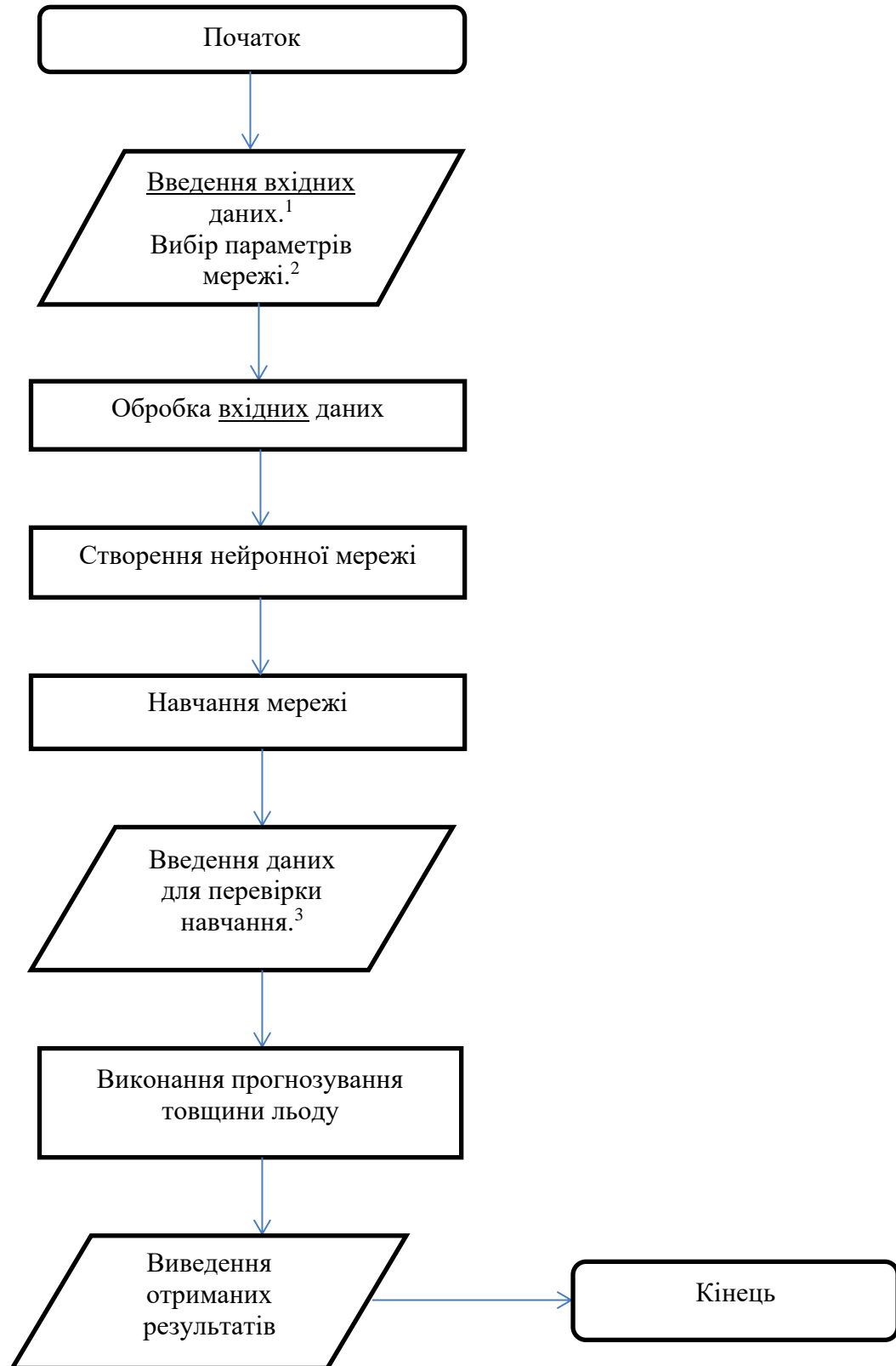


Рисунок 1 — Блок-схема алгоритму виконання прогнозу товщини льоду

¹Вхідні дані:

- Для однопараметричної нейронної мережі:
 - товщина льоду;
 - дата виміру товщини льоду
- Для багатопараметричної нейронної мережі:
 - дата проведення замірів;
 - швидкість вітру;
 - температура повітря;
 - зміна рівня води;
 - товщина льоду.

²Визначення кількості входів в нейронну мережу (відповідає кількості параметрів в мережі), визначення кількості виходів, кількості проміжних шарів, точності, кількості спроб навчання, точність похибки.

³Для багатопараметричної нейронної мережі введення вхідних даних без товщини льоду.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (6)$$

Q групи навчальних вибірок $X_p = \{x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pn}\} (1 \leq p \leq Q)$ повинні бути введені в нейронну мережу, і далі розраховується загальна середня помилка нейронної мережі (7)

$$E_{avg} = \frac{1}{2Q} \sum_{p=1}^Q \sum_{k=1}^l (y_{tk} - y_k)^2, \quad (7)$$

де E_{avg} є спільною середньою помилкою з Q груп зразків навчання, і очікуваний вихід y_{tk} і y_k реальний вихід нейронної мережі відповідно.

Функція відповідності алгоритму полягає в наступному:

$$F_v = \frac{1}{1 + E_{avg}^v},$$

де F_v є відповідністю v -го значення у вибірці, і E_{avg}^v середня похибка v -го значення ($1 \leq v \leq N$). Відповідність між процесом відбору, можливістю вибору p_s обчислюється з використанням (8), і процес відбору буде завершено.

$$p_s(U^i) = \alpha p_f(U^i) + (1 - \alpha) p_d(U^i) = \alpha \frac{f(U^i)}{\sum_{i=1}^M f(U^i)} + (1 - \alpha) \frac{1}{N} e^{C_i/\beta}. \quad (8)$$

Адаптивна ймовірність перетину і ймовірність зміни розраховуються з використанням (9) і (10) відповідно, процеси перетину і зміни будуть завершені, і генеруються значення нового покоління.

$$p_c = \left\{ \begin{array}{l} k_1 \frac{f_{\max} - f_m}{f_{\max} - f_{avg}}, f_m \geq f_{avg} \\ k_2, f_m < f_{avg} \end{array} \right\}; \quad (9)$$

$$p_c = \left\{ \begin{array}{l} k_3 \frac{f_{\max} - f_l}{f_{\max} - f_{avg}}, f_l \geq f_{avg} \\ k_4, f_l < f_{avg} \end{array} \right\}. \quad (10)$$

Розрахунок відбувається до тих пір, поки середня помилка E_{avg} з оптимального значення задовольняється $E_{avg} < \varepsilon_1$, де ε_1 є глобальною точністю пошуку. Адаптивний алгоритм застосовується для оптимізації ваги і порога нейронної мережі з використанням (11), поки середня помилка E_{avg} оптимального значення не задовольняє $E_{avg} < \varepsilon_2$, де ε_2 є остаточною точністю.

$$\Delta W = \eta \frac{\partial E_{avg}}{\partial W}, \quad (11)$$

де ΔW є коригування ваги, η є швидкість навчання і розраховується з використанням (12):

$$\eta(k+1) = \left\{ \begin{array}{l} 1.05\eta(k), \text{ якщо } E_{avg}(k+1) < E_{avg}(k) \\ 0.7\eta(k), \text{ якщо } E_{avg}(k+1) > 1.04E_{avg}(k) \\ \eta(k), \text{ інакше.} \end{array} \right\} \quad (12)$$

Після всіх дій навчені ваги W_1 , W_2 і пороги Θ_1 , Θ_2 нейронної мережі зберігаються, і готові для зразків тестування.

Застосування розробленої моделі нейронної мережі для прогнозування товщини льоду в Азово-Чорноморському басейні.

Реальна товщина льоду може бути отримана за даними режимних спостережень. Нормативні дані регіонів, отримані емпіричним шляхом, призначені, для того щоб дати зацікавленим сторонам загальне уявлення про регіон. Вони не спрямовані на надання значень параметрів, придатних для використання при проектуванні морських споруд. Описані параметри повинні враховуватися при проектуванні, однак деякі з них можуть виявитися несуттєвими при проектуванні окремих видів споруд. Повний опис відповідних параметрів може зажадати перевірки та аналізу всіх наявних даних, збору нових даних, інтерпретації параметрів, що характеризують сусідні регіони або схожі льодові режими, а також статистичної оцінки даних при визначенні параметрів фізичного середовища. Для визначення параметрів природного середовища, необхідних для проектування морських споруд, слід залучати фахівців відповідного профілю. Для попередніх розрахунків використовується також різні емпіричні методи.

Відповідно до статистичних значень товщини льоду в Азовському морі з 2007 по 2017 років, отримані за допомогою супутникових даних (таблиця 1),

максимальна товщина льоду прогнозується завдяки моделі нейронної мережі, і прогнозує результати відповідні реальним значенням.

Значення навчальної вибірки нормовані на підвищення ефективності нейронної мережі з використанням (13):

$$\xi' = \frac{\xi - \xi_{\min}}{\xi_{\max} - \xi_{\min}}, \quad (13)$$

де ξ — необроблені дані зразка, ξ_{\min} і ξ_{\max} — максимальні і мінімальні початкові дані зразка відповідно і ξ' — нормовані дані між 0 і 1.

Таблиця 1 – Товщина льоду для Азовського моря за період з 2007 року по 2017 рік.

Дата	Максимальна товщина льоду, см	Дата	Максимальна товщина льоду, см
18.12.2007	5	10.04.2012	5
15.01.2008	30	25.12.2012	15
12.02.2008	70	22.01.2013	30
11.03.2008	30	05.02.2013	30
30.12.2008	15	28.01.2014	5
13.01.2009	70	04.02.2014	15
03.02.2009	30	17.02.2014	30
29.12.2009	5	05.12.2014	5
19.01.2010	15	02.01.2015	5
09.02.2010	15	20.01.2015	10
25.01.2011	15	12.01.2016	10
15.02.2011	15	27.12.2016	10
29.11.2011	5	23.01.2017	10
06.12.2011	5	30.01.2017	15
31.01.2012	15	07.02.2017	15
13.02.2012	30	13.02.2017	30
19.03.2012	30		

За формулою (13) були розраховані значення для навчання моделі нейронної мережі, представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Дані для навчання моделі нейронної мережі

Серійний номер	Вхідні дані	Вихідні дані
1	0; 0,3846; 1,0000; 0,3846	0,1538
2	0,3846; 1,0000; 0,3846; 0,1538	1,0000
3	1,0000; 0,3846; 0,1538; 1,0000	0,3846
4	0,3846; 0,1538; 1,0000; 0,3846	0
5	0,1538; 1,0000; 0,3846; 0	0,1538
6	1,0000; 0,3846; 0; 0,1538	0,1538
7	0,3846; 0; 0,1538; 0,1538	0,1538
8	0; 0,1538; 0,1538; 0,1538	0,1538
9	0,1538; 0,1538; 0,1538; 0,1538	0
10	0,1538; 0,1538; 0,1538; 0	0
11	0,1538; 0,1538; 0; 0	0,1538
12	0,1538; 0; 0; 0,1538	0,3846
13	0; 0; 0,1538; 0,3846	0,3846
14	0; 0,1538; 0,3846; 0,3846	0
15	0,1538; 0,3846; 0,3846; 0	0,1538
16	0,3846; 0,3846; 0; 0,1538	0,3846
17	0,3846; 0; 0,1538; 0,3846	0,3846
18	0; 0,1538; 0,3846; 0,3846	0
19	0,1538; 0,3846; 0,3846; 0	0,1538
20	0,3846; 0,3846; 0; 0,1538	0,3846
21	0,3846; 0; 0,1538; 0,3846	0
22	0; 0,1538; 0,3846; 0	0
23	0,1538; 0,3846; 0; 0	0,0769
24	0,3846; 0; 0; 0,0769	0,0769

Для навчання нейронної мережі були обрані товщини льоду в період з 18.12.2007 року по 17.02.2014 рік. Нормовані навчальні дані в таблиці 2 вводяться в моделі нейронної мережі. Нейрони вхідного рівня, прихованого

рівня і вихідного рівня встановлюються як 4 ($n = 4$), 10 ($m = 10$) і ($l = 1$) [437]. Змінюючи глобальну точність пошуку ε_1 і кінцеву точність ε_2 та максимальну кількість ітерацій, було проведено навчання моделі нейронної мережі. На рисунках 2 – 5 представлено результати навчання: зелена крива показує реальні значення, а синя крива — значення, отримані за допомогою моделі нейронної мережі

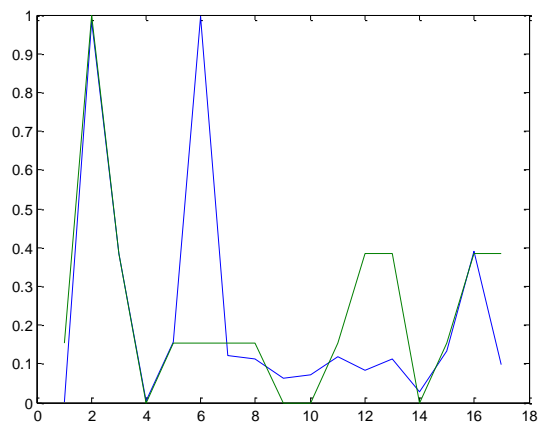


Рисунок 2 — Модель нейронної мережі $\varepsilon_1 = 10^{-7}$, $\varepsilon_2 = 10^{10}$, максимальна кількість ітерацій 1000, кількість перевірок достовірності 10^5 , процес навчання задоволений 168 раз.

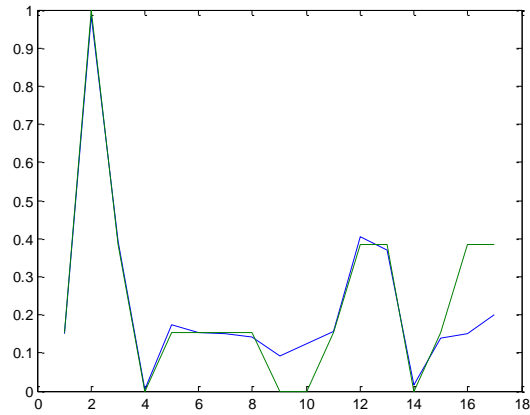
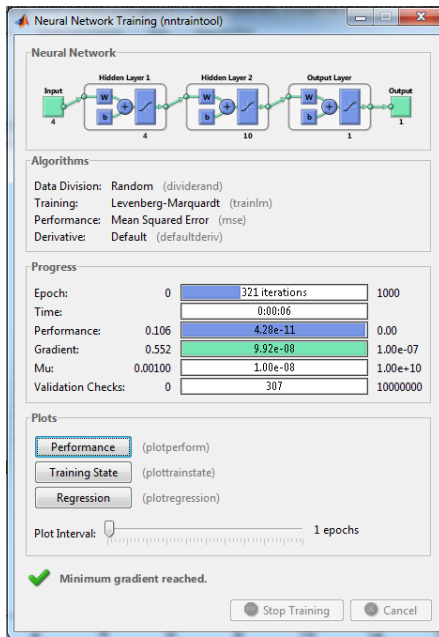


Рисунок 3 — Модель нейронної мережі $\varepsilon_1 = 10^{-7}$, $\varepsilon_2 = 10^{10}$, максимальна кількість ітерацій 1000, кількість перевірок достовірності 10^7 , процес навчання задоволений 307 раз.

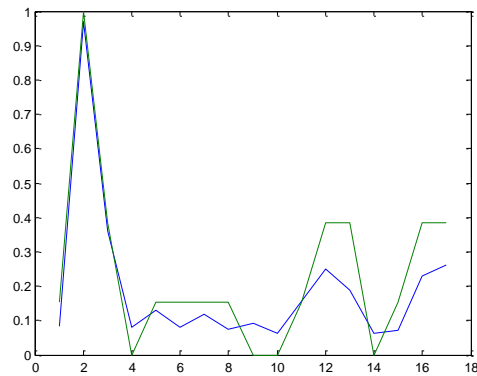
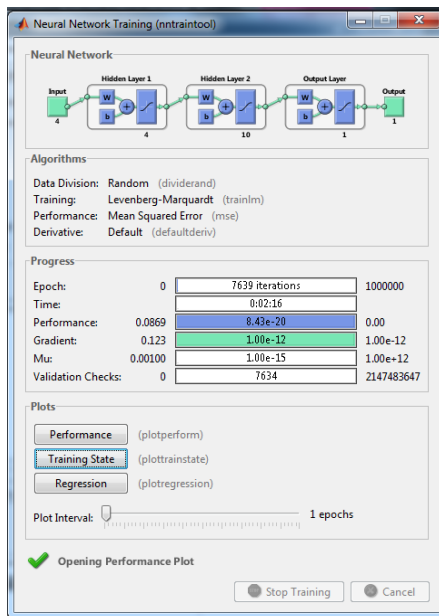


Рисунок 4 — Модель нейронної мережі $\varepsilon_1 = 10^{-12}$, $\varepsilon_2 = 10^{12}$, максимальна кількість ітерацій 106, кількість перевірок достовірності 10^{12} , процес навчання задоволений 7634 рази.

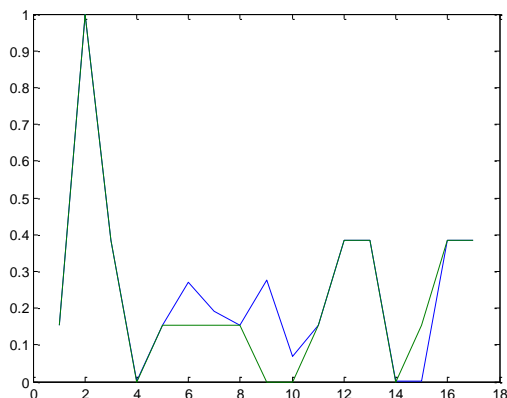
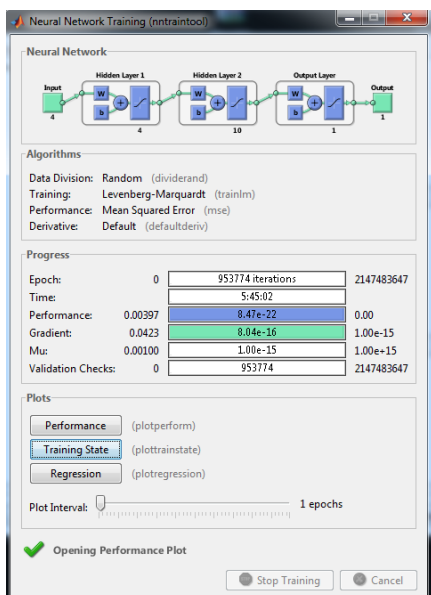


Рисунок 5 — Модель нейронної мережі $\varepsilon_1 = 10^{-15}$, $\varepsilon_2 = 10^{15}$, максимальна кількість ітерацій 1016, кількість перевірок достовірності 10^{15} , процес навчання задоволений 953774 рази.

З рисунку 1 видно, що кількість ітерацій, виконаних в процесі навчання мала, тому що відбувається стрибок кривої в діапазоні значень, які не відповідають реальним даним. Це пов'язано з кількістю ітерацій і кількістю нейронів на кожному з рівнів. На рисунках 2 – 5 зі збільшенням кількості ітерацій при навчанні спостерігається збіг кривої прогнозованих значень і кривої навчальних значень. Таким чином, в подальшому потрібно провести оптимізацію моделі, вибрати оптимальну кількість нейронів на кожному шарі і ітерацій для точного прогнозування товщини льоду.

У таблиці 3 представлено максимальні значення товщини льоду в Азовському морі, які отримані за допомогою розробленої модель нейронної мережі з максимальним числом ітерацій 10^{16} , кількістю перевірок достовірності 10^{15} , процесом навчання, задоволеним 953774 рази.

Таблиця 3 – Максимальні значення товщини льоду в Азовському морі, які спрогнозовані розробленою моделлю нейронної мережі

Дата	Реальна товщина льоду, см	Прогнозована товщина льоду розробленої нейронної мережі, см і похибка (%)
05.12.2014	5	4,9 (2%)
02.01.2015	5	4,95 (1%)
20.01.2015	10	9,98 (0,2%)
12.01.2016	10	9,9 (1%)
27.12.2016	10	10,2 (2%)
23.01.2017	10	9,84 (1,6%)
30.01.2017	15	14,63 (2,5%)
07.02.2017	15	14,58 (2,8%)
13.02.2017	30	28,75 (4,3%)

Як видно з розрахунків, прогнозована товщина льоду практично збігається з реальними статистичними значеннями, а похибка не перевищує 5%. Отже, розроблена модель нейронної мережі здатна прогнозувати з достатньою точністю товщину льоду.

Багатофакторний підхід для розрахунку льодових навантажень за допомогою нейронної мережі.

У цьому розділі пропонується метод підвищення якості прогнозу товщини льоду, а також точності розрахунку льодових навантажень, за допомогою введення в навчальну вибірку додаткових параметрів – зовнішніх факторів навколишнього середовища, що впливають на формування льодового покриття [449, 450].

За аналогією з концепцією розв'язання задачі прогнозування товщини льоду на базі використання нейронної мережі, запропонованої в роботі [447], перш за все, необхідно визначитися з оптимальною архітектурою мережі. В задачах прогнозування часових рядів використовуються багатошарові,

найчастіше тришарові, нейронні мережі прямого поширення [435, 442, 446]. Зовнішній вигляд такої мережі представлений на рисунку 6.

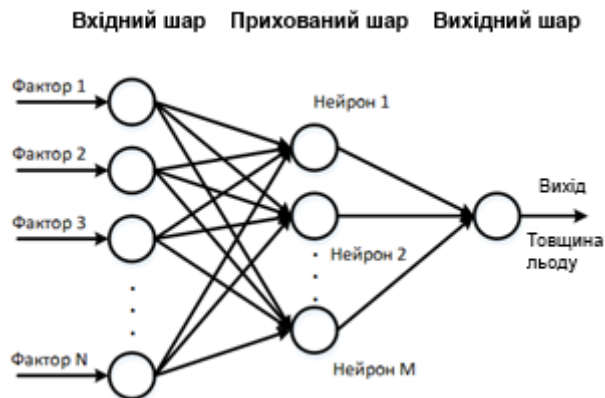


Рисунок 6 — Структура нейронної мережі для прогнозування товщини льодового покриття

В якості вхідних сигналів на вхід мережі подаються значення параметрів, що визначають чинники, які впливають на формування льоду. На виході мережі — прогноз значення шуканого параметра (товщина льоду). При цьому кількість входів мережі (кількість врахованих факторів), може варіюватися від 1 до деякого натурального числа N , а кількість нейронів M , розташованих в прихованому шарі, підлягає визначенню.

Математично постановка задачі може бути описана в наступному вигляді.

Нехай дана вибірка $\{x_i, y_i\}_{i=1}^n$, де x_i — вектор параметрів, що описує i -й прецедент, y_i — значення залежної змінної на i -м прецедент, n — кількість прецедентів. Потрібно побудувати нейронну мережу, що дозволяє отримати прогноз виду $\hat{y} = f(x)$. Для випадку багатofакторної залежності вхідні параметри можуть бути описані у вигляді матриці X , а необхідний прогноз у вигляді $\hat{Y} = f(X)$.

Статистичні дані про залежність товщини льодового покриття від зовнішніх чинників навколишнього середовища приведено в таблиці 4. Ці дані можуть бути використані для навчання нейронної мережі, а також для подальшої

перевірки точності оцінок вихідного параметра, одержуваних за допомогою мережі.

Таблиця 4 — Статистичні дані для навчання і перевірки мережі.

№	Швидкість вітру, м / с	Температура повітря, °С	Погодні умови, кодування WMO4501	Рівень моря, см	Товщина льоду, см
0	1	2	3	4	5
1	0	-4	1	135	0,5
2	2	-4	0	110	4
3	0	-6	0	90	7
4	7	-4	0	50	10
5	6	-8	2	50	12
6	6	-3	2	60	13
7	3	-2	6	85	14
8	2	-3	2	100	15
9	2	-7	2	130	16
10	0	-14	0	140	18
11	0	-13	0	140	17
12	3	-3	2	175	17
13	0	-13	0	175	18
14	0	-14	0	162	18
15	2	-11	0	155	19
16	2	-9	0	165	20
17	1	-14	0	146	21
18	5	-9	3	165	23
19	2	-12	1	175	23
20	7	-3	7	204	23
21	2	-13	0	145	23
22	5	-10	1	185	23
23	2	-2	2	162	25

Продовження таблиці 4

24	2	-1	2	160	27
25	1	0	1	172	29
26	2	3	2	170	29
27	2	2	6	165	30
28	2	2	4	175	25
29	0	1	4	175	24
30	2	2	0	175	21
31	2	4	2	168	19
32	2	3	2	172	17
33	0	2	2	165	16
34	4	1	4	135	15
35	1	2	2	158	13
36	4	-1	2	150	14
37	2	-2	2	165	14
38	0	-1	2	165	16
39	0	0	2	155	15
40	2	5	0	180	12
41	0	0	2	170	10
42	2	-6	7	110	3
43	2	0	2	160	4
44	3	-1	2	135	4

Розглянемо поетапно розв'язання задачі отримання оцінки товщини льодового покриття за допомогою нейронної мережі при багатofакторному підході.

У таблиці 4 такі параметри, як швидкість вітру, температура повітря, погодні умови, рівень води (чотири різних фактора, що описують стан навколишнього середовища) будуть використовуватися в якості значень елементів вхідного вектора x_i , що описує поточний i -й прецедент. Параметр товщини льоду буде використаний в якості значення залежної змінної y_i на i -м прецеденті.

Кількість входів мережі (визначається кількістю факторів, які були обрані з набору статистичних даних) $N_x = 4$. Кількість виходів мережі (відповідно до структури мережі є тільки один вихід — оцінка значення товщини льоду) $N_y = 1$. Число навчальних вибірок (визначається як 75-80% від загальної кількості статистичних даних) $Q = 35$.

Для даної задачі з урахуванням прийнятих значень параметрів мережі нерівність (4) набуде вигляду

$$5,71 \leq N_w \leq 59,5$$

При цьому, з урахуванням (1.6) можна записати

$$1,14 \leq N \leq 11,9$$

Для тих же значень параметрів нерівність (5) буде мати вигляд

$$-1,5 \leq N \leq 12,5$$

Використовуючи останні два нерівності і враховуючи той факт, що кількість нейронів має бути числом натуральним, можна записати умову вибору кількості нейронів на прихованому шарі у вигляді (14)

$$2 \leq N \leq 11 \tag{14}$$

Остаточно приймемо число нейронів прихованого шару $N = 7$.

Описані дії з розрахунку кількості нейронів прихованого шару можуть бути автоматизовані за допомогою Matlab-функції.

Отримана за допомогою функції `calc_N` кількість нейронів прихованого рівня використовується як третій параметр стандартної Matlab-функції `newfit`, що

використовується для створення та навчання нейронної мережі. У загальному вигляді прототип функції має вигляд

$$\text{net} = \text{newfit}(\text{P}, \text{T}, \text{S}),$$

де P — матриця, що містить значення вхідних параметрів; T — вектор виходів, відповідних вхідних вибірці; S — розмірність прихованого рівня, обчислена за допомогою функції calc_N ; net — ідентифікатор мережі.

Прогноз товщини льоду обчислюється за допомогою Matlab-функції

$$\text{Y0} = \text{sim}(\text{net}, \text{X0}),$$

де net — ідентифікатор мережі, отриманий за допомогою функції newfit ; X0 — тестова вибірка, матриця, яка містить набір значень параметрів з решти статистичних даних, які не використовувалися для навчання мережі; Y0 — вектор оцінок незалежної змінної – товщини льоду.

Описаний підхід може бути представлений у вигляді структурної схеми, зображеної на рисунку 7.



Рисунок 7 — Етапи побудови нейронної мережі

Побудована нейронна мережа дозволила отримати наступні оцінки товщини льодового покриття (таблиця 5) з урахуванням багатофакторного підходу.

На підставі даних, наведених у таблиці 5, запропонований багатofакторний підхід дозволяє отримати прогноз товщини льоду в заданому регіоні з відносною похибкою, що не перевищує 1,5%. Таким чином, багатofакторний підхід дозволяє підвищити точність прогнозу, однак вимагає великих обчислювальних потужностей і більше часу, який витрачається на навчання мережі.

Таблиця 5 — Результати моделювання нейронної мережі

№	Швидкість вітру, м/с	Температура повітря, °С	Погодні умови, кодування WMO4501	Рівень моря, см	Товщина льоду, см	Прогнозована товщина льоду розробленої нейронної мережі, см	Відносна похибка, %
1	4	-1	2	150	14	14,2	1,41
2	2	-2	2	165	14	14,1	0,71
3	0	-1	2	165	16	16,15	0,93
4	0	0	2	155	15	14,82	1,21
5	2	5	0	180	12	11,95	0,42
6	0	0	2	170	10	10,12	1,19
7	2	-6	7	110	3	3,01	0,33
8	2	0	2	160	4	3,99	0,25
9	3	-1	2	135	4	4,04	0,99

В Азово-Чорноморському басейні існують кілька видів льоду, які діють на платформи [451, 452, 453].

- Рівний лід
- Битий лід
- Стамухи
- Тороси
- Льодові поля

Згідно ISO-19906 [454] при розробці платформ повинні бути розглянуті наступні умови для однорічного льоду для Азово-Чорноморського басейну:

1. Квазі-статичний вплив через рівень льоду, при цьому інерційними ефектами можна знехтувати.

2. Динамічний вплив рівного льоду, де інерційні ефекти є важливими і необхідний динамічний аналіз.

3. Квазі-статичний вплив уламків льоду, при цьому інерційними ефектами можна знехтувати. Варіанти взаємодії уламків льоду з платформою представлені на рисунках 8 –11.

4. Дія крижаних островів.

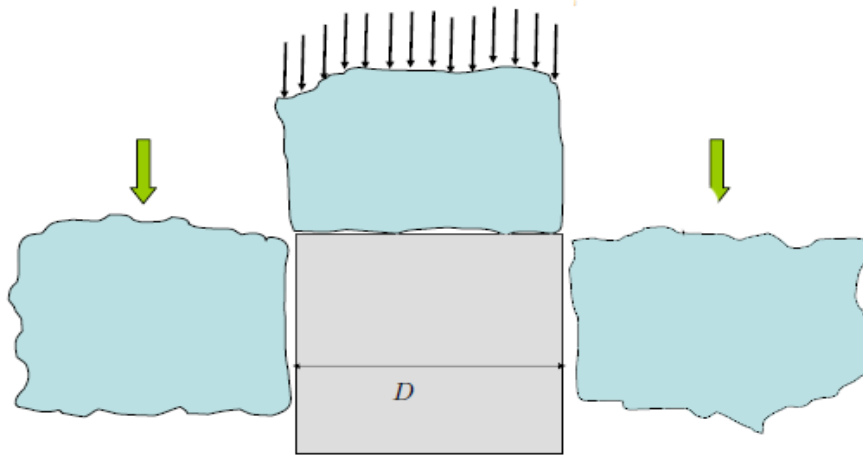


Рисунок 8 — Взаємодія великих шматків льоду з платформою

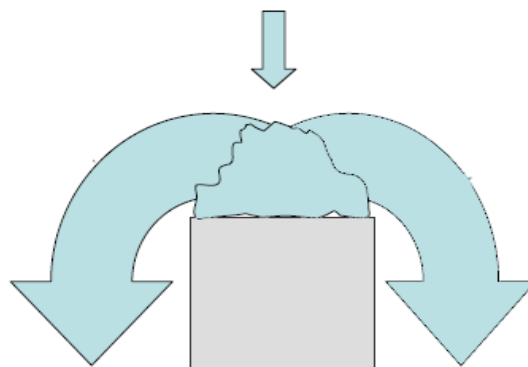


Рисунок 9 — Взаємодія дрібних шматків льоду з платформою

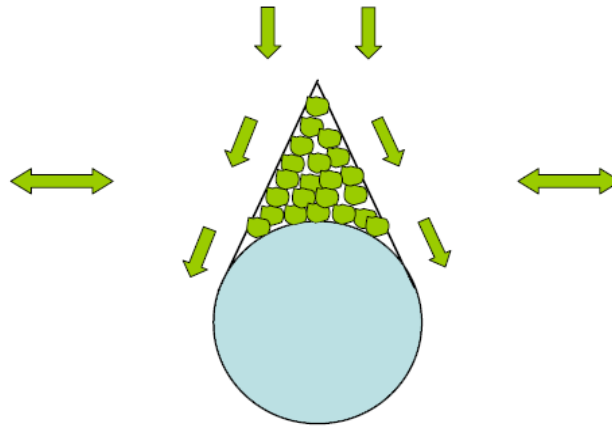


Рисунок 10 — Взаємодія дрібних шматків льоду з платформою в разі бокового тиску.

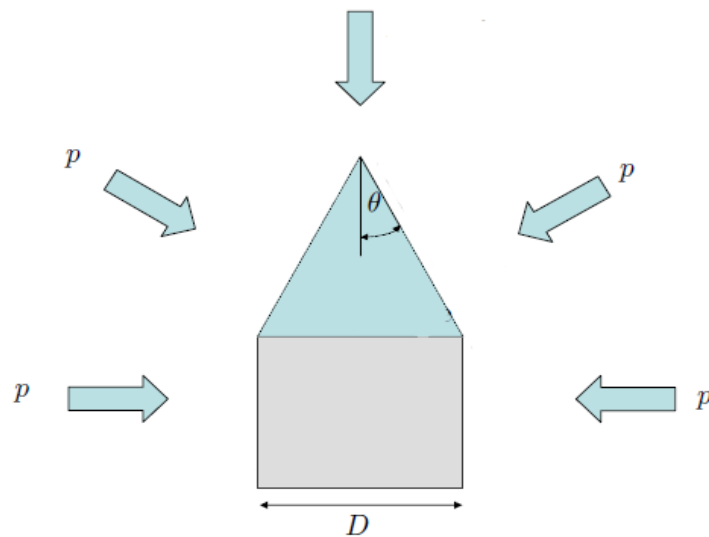


Рисунок 11 — Параметри льодового клину

Таким чином, на ранній стадії проектування потрібний множинний аналіз статичного навантаження в найбільш поширених льодових умовах для області, що цікавить.

Існує чотири різних режими взаємодії льодової структури згідно Løset та ін. [456]: граничне навантаження, максимальне напруження, граничний момент, і руйнування. Основним параметром є рівень льодових навантажень.

Розглянемо методики розрахунку льодових навантажень на бурові платформи з похилими гранями згідно ISO 19906, авторської методики Шхінека, API RP 2N [457]. В основі цих методик лежать моделі і методи Croasdale і Ralston [458 – 462]. Важливим параметром в наведених методиках є товщина льоду. При цьому необхідно враховувати, що товщина льоду є змінною випадковою величиною.

Методика розрахунку льодового навантаження згідно ISO19906.

Модель, заснована на вигині пружної балки.

Відповідно до моделі, заснованої на вигині пружної балки, компонент утворення тріщин від вигинів може бути оцінений за допомогою розгляду льодового покриття як пружної балки на пружній основі. На додаток до моделі, описаної в роботах Croasdale можуть розглядатися тривимірні ефекти, а також наявність крижаних уламків на поверхні конструкції [463, 464].

Відповідно до цієї моделі [462] компонент горизонтального навантаження визначається як:

$$F_H = \frac{H_B + H_P + H_R + H_L + H_T}{1 - \frac{H_B}{\sigma_f l_c h}}, \quad (15)$$

де H_B — руйнівне навантаження;

H_P — компонент навантаження, необхідний, щоб проштовхнути льодовий протокол через крижані уламки;

H_R — навантаження, необхідне для проштовхування крижаних блоків вгору до укосу через крижані уламки;

H_L — навантаження, необхідне, щоб підняти льодовий валун наверх до льодового покриття, що наближається до того, як він зламається;

H_T — навантаження, необхідне, щоб посунути льодовий блок на вершину схилу.

$$H_B = 0.68\xi\sigma_f \left(\frac{\rho_w g h^5}{E}\right)^{0.25} \left(w + \frac{\pi L_c}{4}\right), \quad (16)$$

$$L_c = \left(\frac{Eh^3}{12\rho_w g(1-\nu^2)}\right)^{1/4}, \quad (17)$$

де $\xi = \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$ — параметр, що відноситься до горизонтального та

вертикального компонентів впливу льоду;

α — кут нахилу поверхні конструкції щодо горизонталі, рад;

μ — коефіцієнт кінетичного тертя між льодом і поверхнею конструкції;

E — модуль пружності, ГПа;

ν — коефіцієнт Пуассона;

ρ_w — щільність води, кг/м³;

σ_f — міцність льоду при вигині, кПа;

h — товщина льоду, м;

L_c — характерна довжина крижаного покриття, м;

w — ширина нахилу конструкції, м.

Компонент навантаження H_P виражений як:

$$H_P = wh_r^2 \mu_i \rho_i g (1-e) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha}\right)^2 \frac{1}{2 \tan \theta}, \quad (18)$$

де h_r — висота нагромадження, м;

μ_i — коефіцієнт тертя льоду по льоду;

θ — кут, утворений нагромадженням щодо горизонталі, рад;

e — коефіцієнт пористості уламків льоду;

ρ_i — щільність льоду, кг/м³.

Компонент навантаження H_R :

$$H_R = wP \frac{1}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}, \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \text{де } P = & 0,5\mu_i (\mu_i + \mu) \rho_i g (1-e) h_r^2 \sin \alpha \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha} \right) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right) + \\ & + 0,5(\mu_i + \mu) \rho_i g (1-e) h_r^2 \frac{\cos \alpha}{\tan \alpha} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right) + h_r h \rho_i g \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\mu \sin \alpha} \quad - \quad \text{опір} \end{aligned}$$

крижаного покриву;

Компонент навантаження H_L :

$$\begin{aligned} H_L = & 0,5wh_r^2 \rho_i g (1-e) \xi \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha} \right) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right) + \\ & + 0,5wh_r^2 \rho_i g (1-e) \xi \tan \phi \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right)^2 + \xi cwh_r \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right), \quad (20) \end{aligned}$$

де c — зчеплення крижаних уламків;

ϕ — внутрішній кут тертя крижаних уламків, рад.

Останній компонент H_T визначається як:

$$H_T = 1,5wh^2 \rho_i g \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}. \quad (21)$$

Рівняння (15) було змінено в порівнянні з вихідним рівнянням, запропонованим Croasdale, щоб врахувати напруження стискання в льоді як результат застосовуваного горизонтального навантаження, що враховується в знаменнику цього рівняння. Це враховується з використанням розрахункового значення горизонтального навантаження, таким чином, щоб змінити межу міцності на вигин в такий спосіб

$$\sigma_f^{(1)} = \frac{F_H}{l_c h} + \sigma_f, \quad (22)$$

де l_c — загальна довжина тріщини по колу, м, $l_c = w + \frac{\pi^2}{4} L_c$.

Метод, заснований на теорії пластичності для конусів.

Метод, описаний нижче, заснований на аналізі граничного стану для рівних льодів при взаємодії з висхідними і спадними конусоподібними криголамними конструкціями [465]. Модель розглядає навантаження, зумовлені утворення тріщин від вигинів льодового покриття і наповзання через велику кількість уламків льоду. Відхилення для висхідного криголамного конуса, також підходить для низхідного криголамного конуса, якщо ρ_i замінити на $\rho_w - \rho_i$.

Беручи товщину одиночного льодового покриття при наповзанні, горизонтальне навантаження наповзання H_R і вертикальне навантаження наповзання V_R можуть бути отримані за такими виразами:

$$H_R = W \frac{\tan \alpha + \mu E_2 - \mu f g_r \cos \alpha}{1 - \mu g_r}, \quad (23)$$

$$V_R = W \cos \alpha \left(\frac{\pi}{2} \cos \alpha - \mu \alpha - f h_v \right) + H_R h_v, \quad (24)$$

де $f = \sin \alpha + \mu E_1 \cos \alpha$ — геометричний параметр конічних конструкцій;

$$g_r = \frac{\sin \alpha + \frac{\alpha}{\cos \alpha}}{\frac{\pi}{2} \sin^2 \alpha + 2 \mu \alpha \cos \alpha} \quad \text{— геометричний параметр для конічних}$$

конструкцій;

$$h_v = \frac{f \cos \alpha - \mu E_2}{\frac{\pi}{4} \sin^2 \alpha + \mu \alpha \cos \alpha} \quad \text{— геометричний параметр для конічних}$$

конструкцій;

$$W = \rho_i g h_r \frac{w^2 - w_T^2}{4 \cos \alpha} \text{ — ваговий параметр уламків для конічної конструкції;}$$

w_T — верхній діаметр конуса, ;

h_r — товщина наповзання льоду($h_r > h$);;

α — кут нахилу конструкції, виміряний від горизонталі, рад;

μ — коефіцієнт кінетичного тертя між льодом і поверхнею конструкції;

ρ_i — щільність льоду, кг/м³.

Ефект накопичення крижаних уламків на конусі може бути розглянутий за допомогою значення, яке перевищує товщину одиночного льодового покриття на товщину наповзання. Параметр E_1 і E_2 є повними еліптичними інтегралами першого і другого роду, визначені як:

$$E_1 = \int_0^{\pi/2} (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \eta)^{-1/2} d\eta, \quad (25)$$

$$E_2 = \int_0^{\pi/2} (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \eta)^{1/2} d\eta, \quad (26)$$

де η — середньорічна частота зустрічі.

Горизонтальне зламувальне навантаження H_B і вертикальне зламувальне навантаження V_B дані як:

$$H_B = \frac{\sigma_f h^2}{3} \frac{\tan \alpha}{1 - \mu g_r} \left(\frac{1 + Yx \ln x}{x - 1} + G(x - 1)(x + 2) \right), \quad (27)$$

$$V_B = H_B h_v, \quad (28)$$

де $Y = 2,711$ для плинності Тріска, $Y = 3,422$ для плинності Йохансена;

$$G = \frac{\rho_i g w^2}{4\sigma_f h} \text{ — параметр в криголамній складовій впливів на конічні}$$

конструкції;

$$x = 1 + (3G + \frac{Y}{2})^{-1/2} \text{ — параметр в виразі льодових впливів на конічні}$$

конструкції.

Глобальні навантаження на конструкцію визначаються за формулами (29) та (30).

$$F_H = H_B + H_R, \quad (29)$$

$$F_v = V_B + V_R. \quad (30)$$

Методика розрахунку льодового навантаження за авторською методикою К.Н. Шхінека.

При взаємодії крижаного поля з платформами які мають похилі борта і зокрема, з платформами з конічними вставками, лід може ламатися від вигину або стиснення. Переваги цих споруд перед вертикальними реалізується в тих випадках, коли лід ламається від вигину. У деяких випадках, коли змерзання льоду з колонами, дуже великі швидкості руху льоду, велике скупчення уламків льоду на поверхні платформи і т.д., переваги платформ з похилими бортами перед спорудами з вертикальними можуть бути незначні. Тому при розрахунку споруд з похилими бортами повинні бути розглянуті різні несприятливі, але можливі ситуації (вмерзання в лід, великі швидкості руху льоду).

Залежно від відношення D/l_c [466],

$$l_c = [Eh^3 / (12\gamma_w (1-\nu)^2 \cdot 10^{-3})]^{0.25}, \quad (31)$$

де E — модуль пружності, ГПа;

ν — коефіцієнт Пуассона;

γ_w — питома вага води, кг/м³;

h — товщина льоду, м.

Усі платформи з похилими бортами ділять на широкі (першого типу) і вузькі (другого типу). Платформи з $D/l_c \geq 2,0$ відносять до першого типу, а з $D/l_c \leq 1,0$ до другого. Навантаження при $1,5 < D/l_c < 2$ визначаються лінійною інтерполяцією між навантаженнями, відповідними вказаним граничним значенням.

Горизонтальна і вертикальна складові навантаження від рівного і нашарованого льоду на похилий борт платформи (колони) першого типу, що звужується вгору, або широку вертикальну платформу з конічними вставками, або багатокутну в плані споруду в квазістатичному наближенні визначають за формулами [460]:

$$F_{xc} = (A_1 R_f h_1^2 + A_2 \gamma_w h_1 D^2 \cdot 10^{-3} + A_3 \gamma_w \cdot 10^{-3} h_r (D^2 - D_b^2)) A_4, \quad (32)$$

$$F_{zc} = B_1 F_{xc} + B_2 \gamma_w h_r (D^2 - D_b^2) \cdot 10^{-3}, \quad (33)$$

де $h_r = 2h_1$;

R_f — залишкова міцність льоду, МПа;

D_b — діаметр конуса на висоті $h_3 = \min(h_m, \Delta)$, м;

Δ — верхня відмітка конічної частини платформи (колони), м;

h_m — максимально можлива висота наповзання льоду на платформу, м,

наближено рівна:

$$h_m = 3 + 4h. \quad (34)$$

При недостатній інформації щодо кута тертя уламків φ і пористості поля уламків p_r , допускається приймати $\varphi_1 = 25^\circ$, $p_r = 0,5$.

$A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2$ — коефіцієнти, які приймаються за даними рисунках 12 і 13.

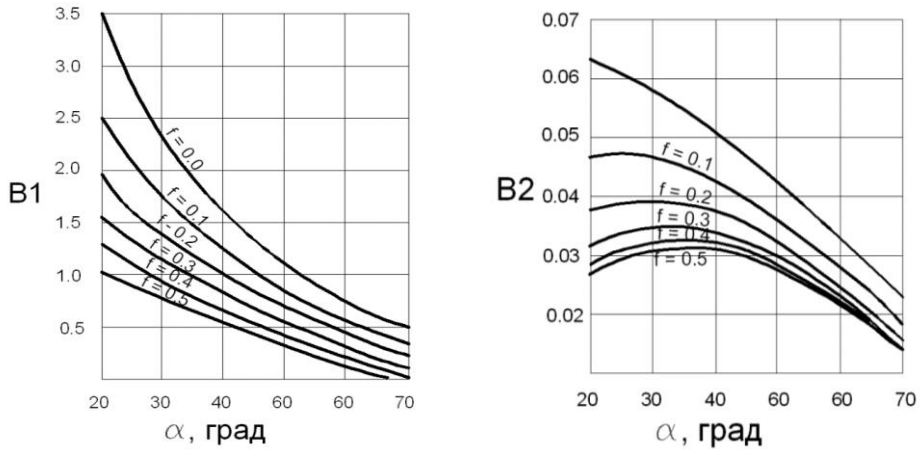


Рисунок 12 — Графіки для визначення коефіцієнтів B_1 і B_2

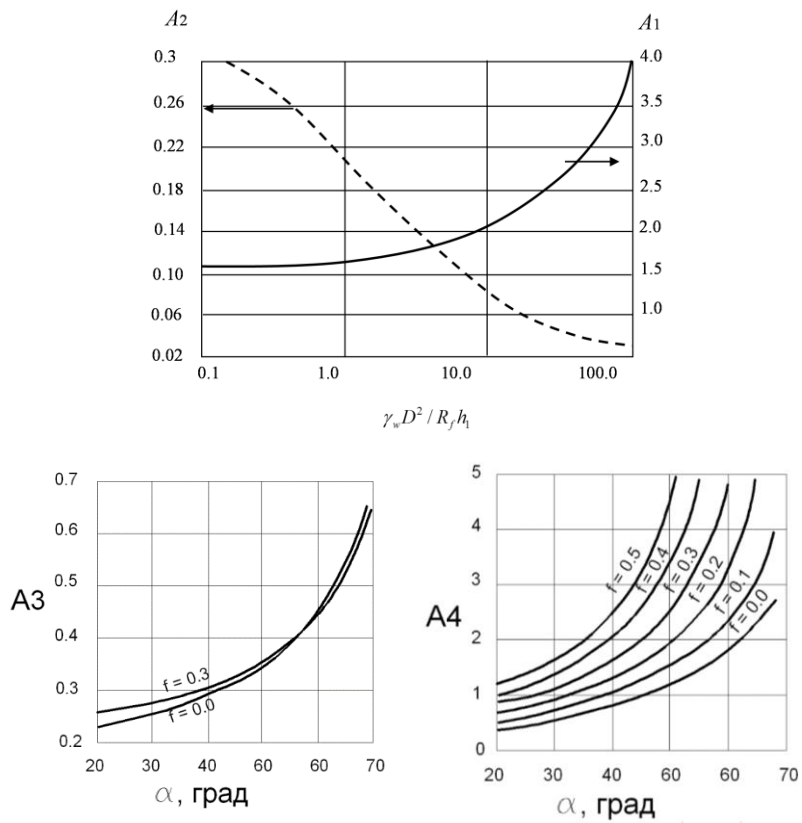


Рисунок 13 — Графіки для визначення коефіцієнтів A_1, A_2, A_3 і A_4

Методика розрахунку льодового навантаження згідно АPIRP 2N.

При складанні комп'ютерних програм з обчислення навантажень на платформу з похилими бортами, що звужуються догори, більш доцільним є використання результатів наближеного аналітичного розв'язання, викладеного в нормах АPIRP 2N [467]:

Горизонтальну F_{HH} і вертикальну F_{HV} компоненти навантаження від битого льоду, що знаходиться на похилій поверхні, слід визначати за формулами:

$$F_{HH} = W \frac{\operatorname{tg} \alpha + fE_2 - fc(\alpha)d(\alpha) \cos \alpha}{1 - fd(\alpha)}, \quad (35)$$

$$F_{HV} = W \cos \alpha \left(\frac{\pi}{2} \cos \alpha - f\alpha - C(\alpha)\varepsilon(\alpha) \right) + H_r \varepsilon(\alpha), \quad (36)$$

де функції $C(\alpha)$, $d(\alpha)$, $\varepsilon(\alpha)$, W рівні:

$C(\alpha) = \sin \alpha + E_1 f \cos \alpha$ — геометричний параметр для конічних конструкцій;

$$d(\alpha) = \frac{\sin \alpha + \alpha / \cos \alpha}{2 \left(\frac{\pi}{4} \sin^2 \alpha + \mu \alpha \cos \alpha \right)} \quad \text{— геометричний параметр для конічних}$$

конструкцій;

$$\varepsilon(\alpha) = \frac{C(\alpha) \cos \alpha - fE_2}{\frac{\pi}{4} \sin^2 \alpha + f\alpha \cos \alpha} \quad \text{— геометричний параметр для конічних}$$

конструкцій;

$$W = \frac{\gamma_\delta h_1 (D^2 - D_1^2)}{\cos \alpha} \quad \text{— ваговий параметр уламків для конічної конструкції;}$$

α — кут нахилу конструкції, виміряний від горизонталі, град;

h_1 — розрахункова товщина рівного або нашарованого льоду, м;

D_1 — діаметр платформи на верхньому рівні дії уламків льоду, м;

D — поперечний розмір в районі дії льоду, м;

γ_δ — питома вага льоду, кг/м³;

f — коефіцієнт тертя льоду по платформі.

E_1 і E_2 — еліптичні інтеграли першого і другого роду, визначаються як:

$$E_1 = \int_0^{\pi/2} (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \theta)^{-1/2} d\theta, \quad (37)$$

$$E_2 = \int_0^{\pi/2} (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \theta)^{1/2} d\theta, \quad (38)$$

де θ — кут внутрішнього тертя уламків льоду на і біля платформи, рад.

Навантаження від наповзання льоду (F_{gH}, F_{gV}) визначають за формулами:

$$F_{gH} = \frac{R_f h_1^3}{3} \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 - fd(\alpha)} \left[\frac{1 + 2.71x \log x}{x - 1} + G(x - 1)(x + 2) \right], \quad (39)$$

$$F_{gV} = \varepsilon(\alpha) F_{gH}, \quad (40)$$

де x — визначають за виразом:

$$x = 1 + (3G + 1.36)^{-1/2}; \quad (41)$$

$$G = \frac{\gamma_i D^2}{4R_f h_1}. \quad (42)$$

Сумарні горизонтальну і вертикальну складові навантаження визначають як:

$$F_H = F_{HH} + F_{gH};$$

(43)

$$F_V = F_{HV} + F_{gV}.$$

Навантаження на конічний борт платформи (колони) першого типу, що розширюється догори, в квазістатичному наближенні визначають за формулами, замінюючи в них h_r на h_1 і γ_w на $((\gamma_w - \gamma_i))$.

Період дії навантаження на платформу першого типу слід визначати за допомогою чисельного розв'язання. Наближено середній період визначають за формулою:

$$\tau = 5h_1 / V, \quad (44)$$

де V — швидкість дрейфу льоду, м/с.

Деякі вхідні параметри, необхідні для розрахунків, були визначені на основі довідкових і даних для проектування платформи [451]. У таблиці 6 представлені основні необхідні параметри, визначені користувачем, які є вихідними для запуску програми Matlab.

Величини позначені такими ж символами, як в програмі MATLAB.

Як приклад для розрахунків була обрана бурова платформа ЛСП-1 (рисунок 14), характеристики якої представлені в таблиці 6.

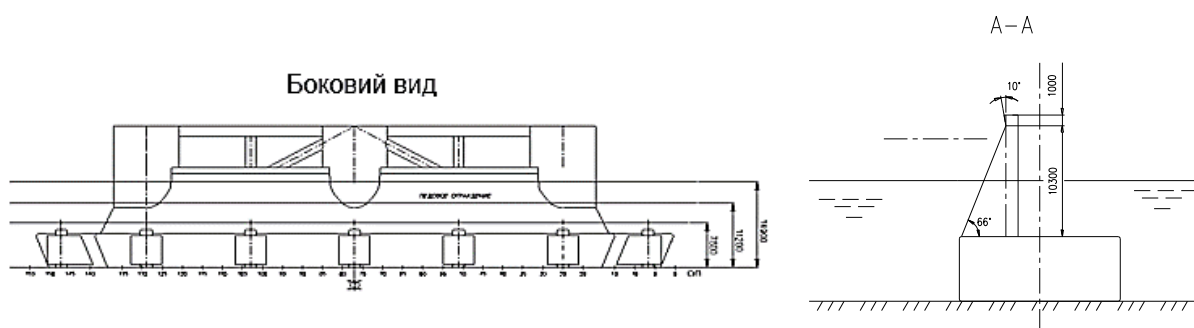


Рисунок 14 — Конструктивна схема льодової захисту на платформі ЛСП-1

Таблиця 6 — Дані для розрахунку льодових навантажень.

Параметри	Значення
Гравітаційна стала g , м/с ²	9,81
Щільність води ρ_w , кг/м ³	1025
Щільність повітря ρ_a , кг/м ³	1,225
Максимальна швидкість вітру V_w , м/с	26
Максимальна глибина постановки платформи d , м	12
Параметри льоду	
Коефіцієнт тертя μ	0,20
Щільність льоду ρ_i , кг/м ³	900
Міцність льоду на вигин σ_f , кПа	500
Модуль пружності E , ГПа	5
Коефіцієнт Пуассона ν	0,3
Товщина льоду h , м	1,0
Параметри платформи	
Ширина платформи	
бортом B_b , м	76,0
носом B_n , м	62,0
Кут нахилу грані α , град	66
Висота похилої частини t , м	8,2
Тороси	
глибина кіля h_k , м	3,75
Висота вітрила h_s , м	1,33
Ширина B_s , м	10
Товщина консолідованого шару h_c , м	0,9
Кут внутрішнього тертя кіля ω , град	30
Нашаруваний лід	
Товщина нашарованого льоду h_f , м	1,0
Коефіцієнт пористості e	0,3
Міцність на стиск нашарованого льоду R_c , МПа	1,8
Міцність на вигин нашарованого льоду R_f , МПа	0,5

Продовження таблиці 6.

Швидкість дрейфу льоду V , м/с	1,9
Льодові поля	
Довжина і ширина льодового поля L , м	2000
Товщина льодового поля h_n , м	0,3

Для максимально можливої товщини льоду 1,0 м були проведені розрахунки льодових навантажень за розглянутими вище методиками.

У всіх нормативних документах розглядають визначення льодових навантажень на споруду на основі статистичних даних про фізико-механічні властивості льоду, гідрометеорологічні та льодові умови в районі споруди в період часу з невеликими льодовими впливами [466]. Деякі методики визначення льодового навантаження мають рекомендаційний характер (APIRP 2N, ISO19906), інші методики носять регламентуючий характер (авторська методика К.Н. Шхінека). Часто при розрахунках не враховується реальна поведінка льодового покриття або завищуються коефіцієнти, що залежать від ставлення площі споруди, яка контактує з льодом і самого розміру льодового утворення. Так само недоліками є: до уваги не береться місце розташування споруди (геологія дна); наводиться методика розрахунку на одну опору споруди, для багатоопорної пропонується це навантаження помножити на кількість опор, тоді, як поведінка льодового утворення з багатоопорною спорудою і вплив на неї буде іншим.

Результати розрахунків льодового навантаження від наповзання льоду за описаними методиками з використанням прогнозованих значень товщини льоду, які були отримані вище, представлені в таблицях 7 – 10.

Таблиця 7 — Льодові навантаження (горизонтальні) від наповзання льоду
(платформа бортом)

Товщина льоду, м	Льодове навантаження, МН			
	Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)
0,0301	1,84	1,559	0,206	0,43
0,0399	2,43	2,078	0,295	0,577
0,0404	2,47	2,105	0,3	0,584
0,1012	6,2	5,537	1,05	1,606
0,1195	7,32	6,657	1,3337	1,937
0,1410	8,65	8,033	1,708	2,338
0,1420	8,71	8,098	1,726	2,357
0,1482	9,09	8,509	1,841	2,475
0,1615	9,92	9,41	2,102	2,732

Таблиця 8 — Льодові навантаження (вертикальні) від наповзання льоду
(платформа бортом)

Товщина льоду, м	Льодове навантаження, МН			
	Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)
0,0301	0,738	0,29	0,059	0,154
0,0399	0,979	0,407	0,082	0,209
0,0404	0,992	0,407	0,083	0,212
0,1012	2,49	1,459	0,29	0,581
0,1195	2,94	1,975	0,37	0,7
0,1410	3,482	2,587	0,47	0,844
0,1420	3,504	2,587	0,48	0,851
0,1482	3,658	2,93	0,511	0,894
0,1615	3,989	3,31	0,582	0,986

Таблиця 9 — Льодові навантаження (горизонтальні) від наповзання льоду
(платформа носом)

Товщина льоду, м	Льодове навантаження, МН			
	Авторська методика К.М. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)
0,0301	1,283	1,267	0,168	0,347
0,0399	1,702	1,689	0,242	0,47
0,0404	1,723	1,711	0,246	0,476
0,1012	4,337	4,495	0,86	1,312
0,1195	5,129	5,402	1,095	1,583
0,1410	6,062	6,515	1,4	1,912
0,1420	6,105	6,568	1,415	1,922
0,1482	6,375	6,9	1,509	2,025
0,1615	6,954	7,628	1,718	2,236

Таблиця 10 — Льодові навантаження (вертикальні) від наповзання льоду
(платформа носом)

Товщина льоду, м	Льодове навантаження, МН			
	Авторська методика К.М. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)
0,0301	0,156	0,256	0,047	0,126
0,0399	0,685	0,357	0,067	0,17
0,0404	0,693	0,362	0,068	0,172
0,1012	1,746	1,276	0,238	0,474
0,1195	2,064	1,667	0,303	0,572
0,1410	2,44	2,223	0,387	0,69
0,1420	2,457	2,25	0,382	0,696
0,1482	2,566	2,429	0,418	0,731
0,1615	2,799	2,839	0,476	0,807

Порівняння отриманих результатів: в таблицях 11 – 14 наводиться порівняння навантажень від реальних товщин льоду з навантаженнями, отриманими із застосуванням прогнозованих товщини льоду.

Таблиця 11 — Порівняння значень льодових навантажень (горизонтальні, платформа носом) від реальної і прогнозованої товщини льоду

Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)
0,312%	0,316%	0%	0,288%
-0,235%	-0,296%	0%	-0,213%
0,987%	0,994%	1,626%	1,050%
1,176%	1,290%	1,628%	1,372%
-0,429%	-0,463%	-0,639%	-0,505%
0,726%	0,814%	1,071%	0,785%
1,425%	1,614%	2,120%	1,301%
-1,224%	-1,406%	-1,789%	-1,383%
0,935%	1,088%	1,397%	0%

Таблиця 12 — Порівняння значень льодових навантажень (вертикальні, платформа носом) від реальної і прогнозованої товщини льоду

Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)
3,205%	0,391%	2,128%	0,794%
-0,292%	-0,281%	0%	-0,588%
0,866%	1,107%	1,471%	0,581%
1,203%	1,842%	1,681%	1,266%
-0,436%	-0,990%	-0,660%	-0,524%
0,738%	1,260%	1,034%	0,725%
1,425%	2,467%	-0,262%	1,580%
-1,208%	-2,203%	-1,675%	-1,368%
0,929%	1,690%	1,471%	0%

Таблиця 13 — Порівняння значень льодових навантажень (вертикальні, платформа бортом) від реальної і прогнозованої товщини льоду

Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)
0,543%	0,385%	0,485%	1,395%
-0,453%	-0,241%	-0,678%	-0,173%
1,174%	1,045%	1%	1,027%
1,258%	1,463%	1,429%	1,308%
-0,478%	-0,255%	-1,072%	-0,516%
0,694%	1,083%	0,820%	0,813%
1,378%	1,877%	1,854%	1,612%
-1,298%	-1,128%	-2,064%	-1,414%
0,938%	1,392%	1,427%	1,061%

Таблиця 14 — Порівняння значень льодових навантажень (вертикальні, платформа бортом) від реальної і прогнозованої товщини льоду

Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)
0,271%	0,686%	3,390%	0%
-0,306%	0,123%	0%	0%
1,008%	1,572%	1,205%	1,415%
1,124%	2,960%	1,379%	1,377%
-0,612%	0,529%	-0,811%	-0,429%
0,804%	2,653%	0,213%	0,711%
1,427%	3,900%	2,292%	1,528%
-1,230%	-0,756%	-1,761%	-1,342%
0,928%	3,249%	1,375%	1,014%

Як видно з таблиць, розрахунок льодових навантажень з використанням прогнозованої товщини льоду дає досить точні значення льодових навантажень в порівнянні з навантаженнями, розрахованими з використанням реальної

товщину льоду. Похибка не перевищує 5%, що дозволяє в подальшому використовувати прогнозовані значення товщини льоду для розрахунку льодових навантажень.

Розглянемо загальні припущення, що враховуються при проектуванні платформ для родовищ Азовського моря:

1. Глибина моря в перспективних і діючих місцях видобутку вуглеводнів 8 – 12 м.
2. Цілорічний видобуток.
3. Верхній шар слабкого мулистого ґрунту становить: на західному узбережжі 4 – 5 м, середня частина моря – 7 м.
4. Екстремальна висота хвилі 3% забезпеченості, період повторюваності 1 раз в 100 років – 4,3 м.
5. Екстремальний прилив з наганянням 3,34 м.
6. Відсутність стійкого припая.
7. Товщина льоду в зимовий період. З огляду на максимальні значення товщини льоду, згідно льодових спостережень з грудня 2007 року по березень 2017 року (рисунок 15), була спрогнозована максимальна товщина льоду на наступний період із застосуванням нейронних мереж, яка становить 0,298 м.

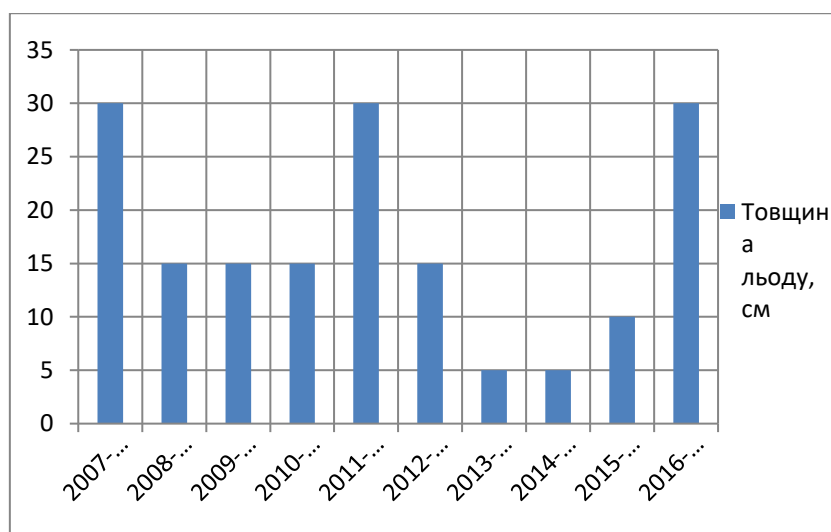


Рисунок 15 — Розподіл товщини льоду з грудня 2007 – 2017

*Аналіз і застосування зарубіжного досвіду створення та експлуатації
морських бурових установок в умовах мілководдя.*

Для розвідки і видобутку вуглеводневої сировини в умовах мілководдя зарубіжними нафтовими компаніями найчастіше використовувалися такі типи споруд [451]:

1. Грунтові острова.
2. Льодові острова.
3. Самопідйомні бурові платформи.
4. Льодостійкі стаціонарні бурові платформи.

Розглянемо можливість застосування цих типів споруд стосовно шельфу Азовського моря.

1. Грунтові острова. Основне навантаження, яке сприймається — льодове. Але власна вага ґрунтових островів значно впливає на основу цієї споруди. Це навантаження перевищує льодове практично в три рази. Основні аварії, пов'язані з ґрунтовими островами: руйнування і ерозія насипу острова. З огляду на слабкий і «повзучий» ґрунт Азовського моря, створення ґрунтового острова буде складним інженерним завданням, і матиме високі економічні витрати.

2. Льодові острова. Утворюються шляхом поширеного потовщення природного льодового покриву. Однак, створення таких платформ в Азовському морі неможливо через відсутність цілорічного льоду.

3. Самопідйомні плавучі бурові платформи. Для слабких ґрунтів використовують платформи з опорними матами. Використання СПБУ на глибинах до 30 м становить всього 2% від загального числа СПБУ, що показує що застосування цього типу платформ можливе, але недоцільне.

4. Льодостійкі стаціонарні платформи. З огляду на особливості слабого ґрунту даної ділянки, розглядаються стаціонарні платформи з пальною основою. Особливий інтерес представляють льодостійкі гравітаційні платформи, здатні витримувати як вітрові, хвильові так і високі льодові навантаження. Залежно від глибини моря, можуть бути 4х типів: основою служить кесон;

основою служити монокон; основою служити багатоконна основа, «легкі конструкції».

З перерахованого вище, в якості розглянутого типу виберемо льодостійкі стаціонарні платформи.

Визначення льодових навантажень на існуючі типи платформ.

Для вибору АКТ льодостійкої стаціонарної платформи проведемо розрахунки льодових навантажень для різних варіантів основи. Розрахуємо льодові навантаження для існуючих типів платформ: ЛСП-1 (рисунок 16) і СМОЛП (рисунок 17).

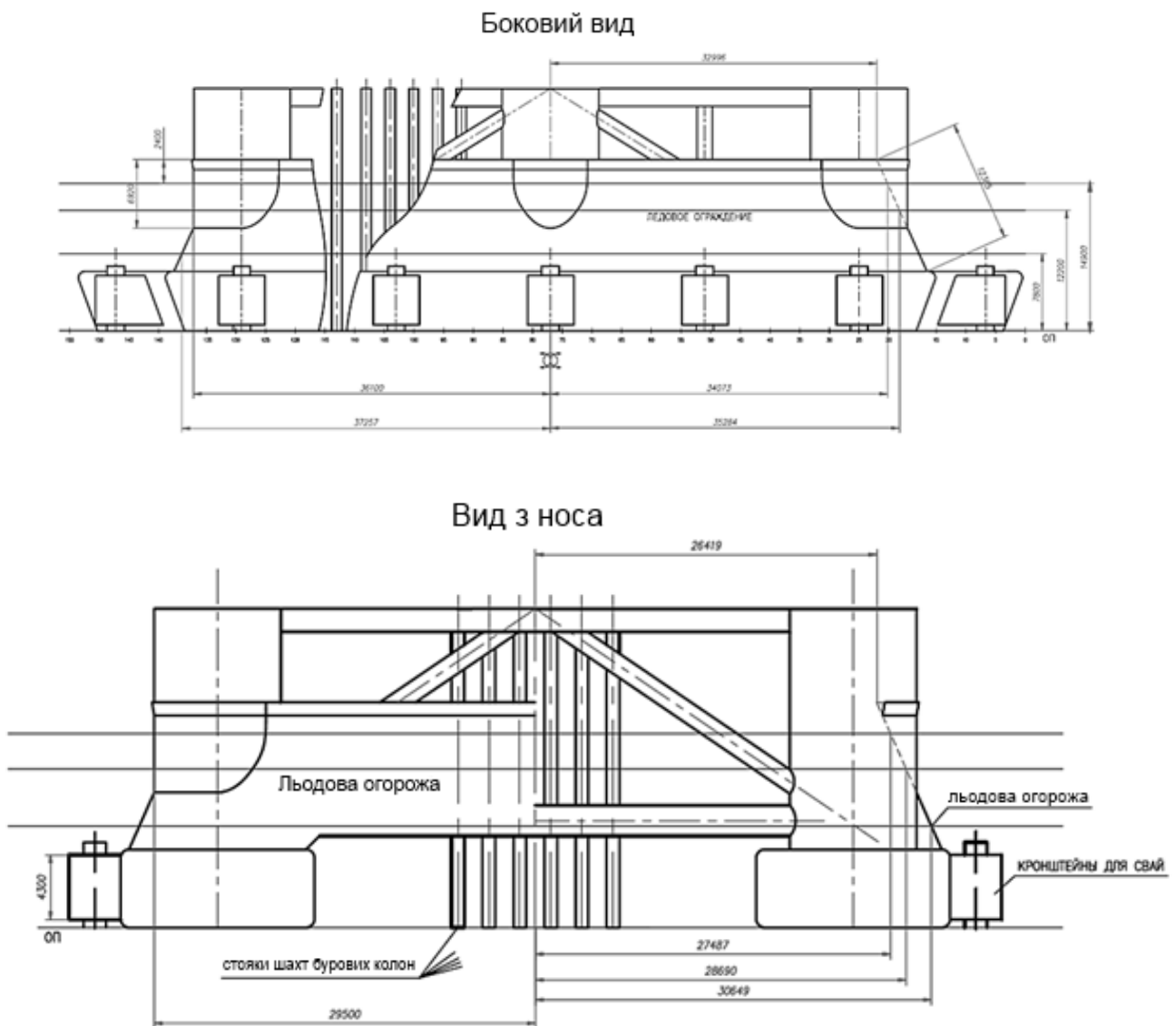


Рисунок 16 — Загальний вид основи ЛСП-1

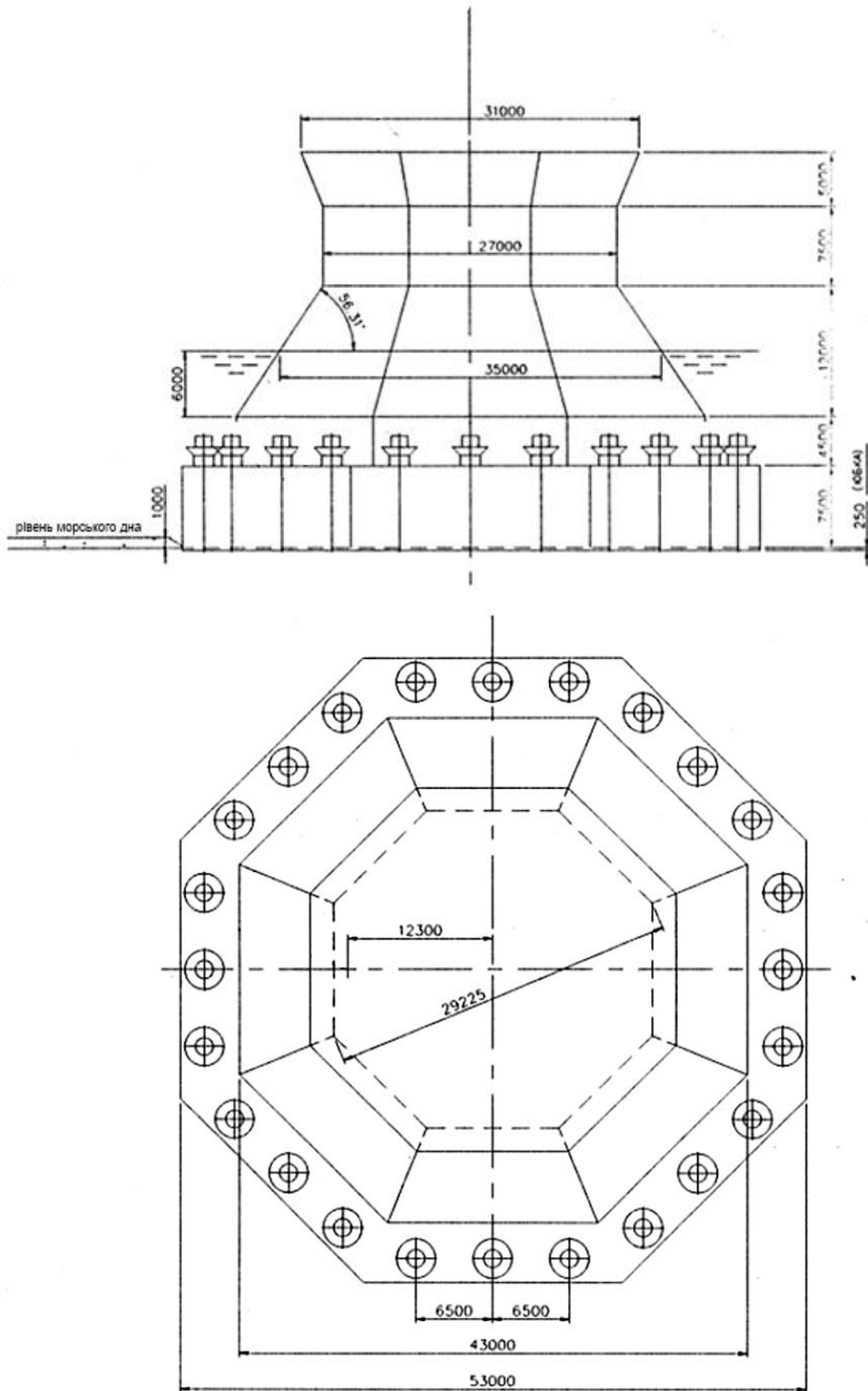


Рисунок 17 — Загальний вигляд основи СМОЛП

Таблиця 15 — Дані для розрахунку льодових навантажень для Азово-Чорноморського басейну

Параметри	Значення
Гравітаційна стала g , м/с ²	9,81
Щільність води ρ_w , кг/м ³	1025
Щільність повітря ρ_a , кг/м ³	1,225
Максимальна швидкість вітру V_w , м/с	26
Максимальна глибина постановки платформи d , м	12
Параметри льоду	
Коефіцієнт тертя μ	0,20
Щільність льоду ρ_i , кг/м ³	900
Міцність льоду на вигин σ_f , кПа	500
Модуль пружності E , ГПа	5
Коефіцієнт Пуассона ν	0,3
Товщина льоду h , м	0,298
Параметри ЛСП-1	
Ширина платформи	
бортом B_b , м	70,0
носом B_n , м	63,0
Кут нахилу грані α , град	66
СМОЛП	
Ширина платформи на рівні 8 м, м	43
Ширина на рівні 12 м, м	41,8
Кут нахилу грані α , град	56,3

Для розрахунку льодових навантажень використовуємо формули (15) – (44) для бурових платформ з похилою основою. Отримані навантаження наведено в таблицях 16 – 18.

Таблиця 16 — Горизонтальна льодове навантаження на ЛСП-1 при товщині льоду 0,298 м. Постановка платформи бортом

	ISO 19906		Методика К.Н. Шхінека
	Теорія пластичності	Вигин пружної балки	
Глибина постановки 8 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$			
Горизонт.	6,39 МН	4,65 МН	16,1 МН
Глибина постановки 10 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$			
Горизонт.	8,95 МН	7,33 МН	18,24 МН
Глибина постановки 12 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$			
Горизонт.	11,57 МН	10,84 МН	19,44 МН

Таблиця 17 — Горизонтальна льодове навантаження на ЛСП-1 при товщині льоду 0,298 м. Постановка платформи носом

	ISO 19906		Методика К.Н. Шхінека
	Теорія пластичності	Вигин пружної балки	
Глибина постановки 8 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$			
Горизонт.	4,67 МН	3,77 МН	12,36 МН
Глибина постановки 10 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$			
Горизонт.	6,32 МН	5,04 МН	13,46 МН
Глибина постановки 12 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$			
Горизонт.	9,14 МН	8,67 МН	16,02 МН

Таблиця 18 — Горизонтальна льодове навантаження на СМОЛП при товщині льоду 0,298 м

Глибина моря	ISO 19906		Методика К.Н. Шхінека
	Теорія пластичності	Вигин пружною балки	
8 м, 10 м*	17,74 МН		31,18 МН
12 м	9,05 МН	5 МН	22,47 МН

Згідно ПРМРС величина льодового пояса обчислюється за формулою:

$$l = \Delta_{100} + 2\alpha_1 h_{c100}, \quad (45)$$

де Δ_{100} — максимальний розмах зміни рівня моря щодо середнього рівня, м, можливий 1 раз в 100 років; α_1 — коефіцієнт запасу $\alpha_1 = 1,1$; $h_{c100} = 1,0$ м — товщина консолідованого шару тороса, можлива 1 раз в 100 років (за відсутності торосів товщина рівного або нашарованого льоду), м.

$$l = 3,34 + 2 \cdot 1,1 \cdot 1 = 5,54 \text{ м.}$$

Льодове навантаження прикладене до кожної з платформ на рівнях 12 м, 10 м и 8 м у вигляді горизонтальної та вертикальної погонного навантаження, кН/м. Вертикальна складова глобальної льодового навантаження від рівного або нашарованого льоду на опорі конічної форми визначається за формулою:

$$F_{\text{верт}} = \frac{F_{\text{гор}}}{\text{tg}(\beta + \text{arctgf})}. \quad (46)$$

З огляду на довжини розподілу навантажень на рівнях кожної з платформ, отримаємо:

- для горизонтальних погонних навантажень:

$$g_{\text{гор}} = \frac{F_{\text{гор}}}{L}; \quad (47)$$

- для вертикальних погонних навантажень:

$$g_{\text{верт}} = \frac{F_{\text{верт}}}{L}, \quad (48)$$

L — довжина льодової огорожі, яка сприймає навантаження уздовж ДП установки і поперек ДП установки.

В таблицях 19 та 20 наведені результати розрахунку льодових навантажень.

Таблиця 19 — Розрахунок величин погонних навантажень для ЛСП-1

Рівень прикладання, м	Борт			Ніс		
	12	10	8	12	10	8
$F_{\text{гор}}$, кН	19440	19440	19440	16020	16020	16020
$F_{\text{верт}}$, кН	7092	7092	7092	6343	6343	6343
L , м	69	71	73	58	59,5	61
$g_{\text{гор}}$, кН/м	281,74	273,80	266,30	276,21	269,24	262,62
$g_{\text{верт}}$, кН/м	102,78	99,89	97,15	109,36	106,61	103,98

Таблиця 20 — Розрахунок величин погонних навантажень для СМОЛП

Рівень прикладання, м	12	8; 10
$F_{\text{гор}}$, кН	22470	31180
$F_{\text{верт}}$, кН	9160	9160
L , м	41,6	43
$g_{\text{гор}}$, кН/м	540,1	725,1
$g_{\text{верт}}$, кН/м	220,2	213,0

Виходячи з обчислених навантажень, можна зробити висновок, що прототип ЛСП-1 піддається меншим льодовим навантаженням, ніж прототип

СМОЛП. Для подальшого розглядання та надання рекомендацій при проектуванні будемо розглядати льодостіку платформу типу ЛСП-1.

Вибір оптимальних конструктивних параметрів льодостійкої стаціонарної платформи для Азовського моря на початкових стадіях проектування.

У роботі [468, 469] для умов Азовського моря визначено критерій оптимізації конструктивних параметрів, який передбачає рівність льодового і вітро-хвильового навантажень і показана можливість вибору оптимальних конструктивних параметрів платформ такого типу. Розглянемо запропоновану методику для розглянутої платформи типу ЛСП-1.

Отримані оцінки і співвідношення дозволяють в загальному вигляді обчислити залежності максимальних величин льодового і вітро-хвильового навантажень на ЛСП в залежності від кута нахилу грані до горизонту β . Перетин цих залежностей відповідає оптимальній величині конусного розширення опори ЛСП. Нижче наведені апроксимаційні співвідношення для таких розрахунків.

$$\begin{aligned}
 P_n &= (2 \cdot 10^{-5} D_n + 0,0006) \beta^2 + (0,001 D_n + 0,0293) \beta + (0,0002 D_n^2 - \\
 &- 0,0144 D_n + 0,0488), \\
 D_n &= D_1 + \Delta / \operatorname{tg} \beta, \\
 P_e &= 0,3796 D_e + 1,4247.
 \end{aligned}
 \tag{49}$$

де $D_e = \frac{D_1 \Delta}{H} + D_2 \left(\frac{H - \Delta}{H} \right) + \frac{2 \Delta^2}{H \operatorname{tg} \beta}$ — еквівалентний діаметр опори з

конусним розширенням, $D_2 = D_1 + \frac{2 \Delta}{\operatorname{tg} \beta}$;

D_1 — діаметр опори без конусної частини, м;

$D_n = \frac{D_1 + D_2}{2}$ — діаметр опори в місці впливу льоду, м;

Δ — висота опори, м;

H — глибина моря в місці установки платформи, м;

β — кут нахилу твірної конуса до горизонталі, град.

Для визначення висоти опор, обчислимо кліренс БП на основі декількох різних критеріїв:

$$1. H_{1k} = H_n + \eta + 0,1h_{\max}, \quad (50)$$

де η — висота гребня найбільшої хвилі, тобто хвилі 0,1% забезпеченості

$$\eta = \bar{h} \left[\frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{100}{n} \right) \left(1 + \frac{h^*}{\sqrt{2\pi}} \right) \right]^{0,5(1-h^*)}, \quad (51)$$

де $h^* = \frac{\bar{h}}{H}$, n — забезпечення (%);

H — глибина моря, м;

H_n — максимальна величина нагона, можлива один раз в 100 років, м;

h_{\max} — максимальна висота хвилі, для розглянутого району, м;

\bar{h} — середня висота хвилі, м.

$$2. H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5, \quad (52)$$

де Δ_{100} — максимальна амплітуда зміни рівня моря, можлива 1 раз в 100 років, м;

h_{100} , λ_{100} — максимальна висота і довжина хвилі, можлива один раз в 100 років, ($\lambda_{100} = 43$ м), м;

D — діаметр опори, м.

$$3. H_{3k} = 4h_{\max} + \Delta_{100} + 0,5, \quad (53)$$

де h_{\max} — товщина нашарованого льоду, можлива один раз в 100 років.

Глибина постановки 8 м:

$$1. H_{1k} = H_n + \eta + 0,1h_{\max}.$$

$$h^* = \frac{\bar{h}}{H} = \frac{1,5}{8} = 0,19;$$

$$\eta = \bar{h} \left[\frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{100}{n} \right) \left(1 + \frac{h^*}{\sqrt{2\pi}} \right) \right]^{0,5(1-h^*)} = 1,5 \left[\frac{4}{3,14} \left(\ln \frac{100}{0,1} \right) \left(1 + \frac{0,19}{\sqrt{2 \cdot 3,14}} \right) \right]^{0,5(1-0,19)} =$$

$$= 3,75;$$

$$H_{1k} = 2 + 3,75 + 0,1 \cdot 3 = 6,05 \text{ м};$$

$$2. H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5.$$

$$H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5 = 1 + 1,2 \left(\frac{76,74}{43} \right)^{0,25} \cdot 3 + 1,5 = 7 \text{ м};$$

$$3. H_{3k} = 4h_{\max} + \Delta_{100} + 0,5.$$

$$H_{3k} = 4 \cdot 0,298 + 1 + 0,5 = 2,69 \text{ м}.$$

Глибина постановки 10 м:

$$1. H_{1k} = H_n + \eta + 0,1h_{\max}.$$

$$h^* = \frac{\bar{h}}{H} = \frac{1,5}{10} = 0,15;$$

$$\eta = \bar{h} \left[\frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{100}{n} \right) \left(1 + \frac{h^*}{\sqrt{2\pi}} \right) \right]^{0,5(1-h^*)} = 1,5 \left[\frac{4}{3,14} \left(\ln \frac{100}{0,1} \right) \left(1 + \frac{0,15}{\sqrt{2 \cdot 3,14}} \right) \right]^{0,5(1-0,15)} =$$

$$= 3,92;$$

$$H_{1k} = 2 + 3,92 + 0,1 \cdot 3 = 6,22 \text{ м};$$

$$2. H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5.$$

$$H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5 = 1 + 1,2 \left(\frac{76,74}{43} \right)^{0,25} \cdot 3 + 1,5 = 7 \text{ м};$$

$$3. H_{3k} = 4h_{\max} + \Delta_{100} + 0,5.$$

$$H_{3k} = 4 \cdot 0,298 + 1 + 0,5 = 2,69 \text{ м.}$$

Глибина постановки 12 м:

$$1. H_{1k} = H_n + \eta + 0,1h_{\max}.$$

$$h^* = \frac{\bar{h}}{H} = \frac{1,5}{12} = 0,125;$$

$$\eta = \bar{h} \left[\frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{100}{n} \right) \left(1 + \frac{h^*}{\sqrt{2\pi}} \right) \right]^{0.5(1-h^*)} = 1,5 \left[\frac{4}{3,14} \left(\ln \frac{100}{0,1} \right) \left(1 + \frac{0,125}{\sqrt{2 \cdot 3,14}} \right) \right]^{0.5(1-0,125)} =$$

$$= 3,96;$$

$$H_{1k} = 2 + 3,96 + 0,1 \cdot 3 = 6,26 \text{ м.}$$

$$2. H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0.25} \cdot h_{100} + 1,5.$$

$$H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0.25} \cdot h_{100} + 1,5 = 1 + 1,2 \left(\frac{76,74}{43} \right)^{0.25} \cdot 3 + 1,5 = 7 \text{ м;}$$

$$3. H_{3k} = 4h_{\max} + \Delta_{100} + 0,5.$$

$$H_{3k} = 4 \cdot 0,298 + 1 + 0,5 = 2,69 \text{ м.}$$

Таким чином, кліренс споруди типу ЛСП-1 для розглянутих умов дорівнює 7,0 м.

Отримані оцінки і співвідношення (49) дозволяють в загальному вигляді обчислити залежності максимальних величин льодового і вітро-хвильового навантажень на споруди типу ЛСП-1 в залежності від кута β . У таблицях 21, 22 представлені розрахунки льодових навантажень для споруди типу ЛСП-1 для різних глибин постановки з урахуванням отриманого кута β .

Таблиця 21 — Розрахунок льодових навантажень на споруди типу ЛСП-1 для різних глибин постановки, з урахуванням розрахованих кута β . Постановка споруди типу ЛСП-1 боком

Напрямок дії навантаження	ISO 19906 (теорія пластичності)	ISO 19906 (вигин пружної балки)	Авторська методика К.Н. Шхінека
Глибина постановки 8 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 75,4^\circ$			
Горизонт.	3,97	2,94	11,58

Продовження таблиці 21.

Верт.	3,2	1,69	4,03
Глибина постановки 10 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 76,3^\circ$			
Горизонт.	6,18	4,90	13,67
Верт.	3,62	2,05	4,74
Глибина постановки 12 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 77^\circ$			
Горизонт.	10,69	10,47	13,82
Верт.	4,79	3,09	3,55

Таблиця 22 — Розрахунок льодових навантажень на споруди типу ЛСП-1 для різних глибин постановки, з урахуванням розрахованих кута β . Постановка споруди типу ЛСП-1 носом.

Напрямок дії навантаження	ISO 19906 (теорія пластичності)	ISO 19906 (вигин пружної балки)	Авторська методика К.Н. Шхінека
Глибина постановки 8 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 75,4^\circ$			
Горизонт.	3,32	2,45	8,27
Верт.	2,7	1,48	2,12
Глибина постановки 10 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 76,3^\circ$			
Горизонт.	5,1	4,06	8,83
Верт.	3,01	1,69	2,26
Глибина постановки 12 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 77^\circ$			
Горизонт.	9,69	8,61	11,21
Верт.	3,98	2,54	2,88

У таблиці 23 представлені розрахунки погонних навантажень для отриманих значень навантажень з урахуванням кута нахилу утворюючої до горизонту β .

Таблиця 23 — Розрахунок величин погонних навантажень для споруди типу ЛСП-1

Рівень прикладання, м	Борт			Ніс		
	12	10	8	12	10	8
$F_{гор}$, кН	13820	13820	13820	11210	11210	11210
$F_{верт}$, кН	4740	4740	4740	2880	2880	2880
L , м	72,26	74,2	76,24	59,06	61	63,04
$g_{гор}$, кН/м	191,25	186,25	181,26	189,81	183,77	177,82
$g_{верт}$, кН/м	65,60	63,88	62,17	48,76	47,21	45,69

Порівнявши значення навантажень на конструкцію типу ЛСП-1 в таблицях 16, 17, 19, 21, 22 і 23 відповідно, можна зробити висновок, що вибраний кут нахилу твірної опори до горизонту дозволяє зменшити льодове навантаження.

З урахуванням обраного кута нахилу твірної опори до горизонту та визначених льодових та вітро-хвильових навантажень, визначимо нову товщину зовнішньої обшивки опорних колон в районі діючої ватерлінії.

Рівень напруження в одній колоні з товщиною зовнішньої обшивки $s=16$ мм до визначення нового кута нахилу твірної опори до горизонту згідно з [470] становила:

$$\sigma = \left(\frac{P_{в.к.}}{6} + F_{гор} + F_{верт} + F_{вітро-хв} \right) \cdot \frac{1}{\pi D s},$$

де $P_{в.к.} = 10,1$ МН — вага верхнього корпусу ЛСП-1;

$F_{гор}, F_{верт}$ — льодове навантаження, МН;

$F_{вітро-хв}$ — вітро-хвильове навантаження, МН;

$D = 9,8$ — діаметр колони, м;

$s = 0,016$ — товщиною зовнішньої обшивки колони, м.

$$\sigma = \left(\frac{10,1}{6} + 19,44 + 7,09 + 10,5 \right) \cdot \frac{1}{3,14 \cdot 9,8 \cdot 0,016} = 78 \text{ МН/м}^2.$$

Приймаючи, що розрахунковий рівень напруження в одній колоні буде постійним, то визначим товщину зовнішньої обшивки колони після зміни кута нахилу твірної опори до горизонту:

$$s_{нов} = \frac{\left(\frac{P_{в.к.}}{6} + F_{гор} + F_{верт} + F_{вітро-хв} \right)}{\pi D \sigma} = \frac{23,5}{3,14 \cdot 9,8 \cdot 78,6} = 0,010 \text{ м.}$$

Для оцінки металоємності порівняємо вагу шістьох колон до і після зміни кута нахилу твірної опори до горизонту:

$$1) s = 0,016 \text{ м, } P = 6\pi D s \gamma = 6 \cdot 3,14 \cdot 9,8 \cdot 0,016 \cdot 78,5 \cdot 18,5 = 4290 \text{ т;}$$

$$2) s = 0,010 \text{ м, } P = 6\pi D s \gamma = 6 \cdot 3,14 \cdot 9,8 \cdot 0,010 \cdot 78,5 \cdot 18,5 = 2681 \text{ т;}$$

$\gamma = 78,5$ — щільність сталі, т/м³;

$l = 18,5$ — довжина однієї колони, м.

Таким чином, зміна кута нахилу твірної опори до горизонту та зменшення навантажень на ЛСП-1, дозволяє зменшити товщину зовнішньої обшивки опорних колон і їх вагу на 1579 т, що значно змінить вартість майбутньої платформи.

SECTION 13. VEGETABLE GROWING

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.13.1

13.1 The influence of plant densification on the yield of white-head cabbage in Southern Ukraine

Introduction

Among the wide assortment of species, the total number of which is 130-140 thousand, vegetable plants are represented by an average of 200 species. The annual consumption of vegetables per person in Ukraine is 146 kg, which ranges from 128 to 164 kg, depending on the region of the country. Before the war, about 500,000 hectares were set aside for growing vegetables in Ukraine. In the structure of sown areas, one of the leading places is occupied by cabbage, including cabbage. During the war years in Ukraine, there is a tendency to decrease the production of vegetable crops.

The purpose of our study was to experimentally substantiate some elements of the technology of growing white cabbage in the southern Steppe of Ukraine by choosing the best schemes for its planting. The object of our research was to determine the processes of growth and development of white cabbage plants, yield and the main indicators of crop quality depending on the planting scheme under drip irrigation conditions, and the subject of the study was the planting scheme of white cabbage seedlings. The research methods that were used in our experiment were as follows: field - to determine the optimal scheme for planting seedlings under drip irrigation, laboratory - used to control soil moisture under the crop, statistical - to calculate the error of the experiment and evaluate the results of the research.

The homeland of all types of cabbage, with the exception of Beijing and Chinese cabbage, is the European coast of the Mediterranean Sea, the English Channel and the Pas de Calais. Data from historical monuments show that cabbage was widely grown in the Mediterranean countries as early as 2000-3000 BC. First there was kale, from which later, as a result of long-term selection, white cabbage was created. This culture has been known in Egypt since the VI century. century BC, in Western Europe - from the 16th century. "In Ancient Greece and Ancient Rome, different types of cabbage

and leafy cabbage were grown. Cabbage from Rome came to Germany." According to Dekandol, "numerous varieties of cabbage have been formed mainly since the time of the ancient Greeks. He believed that wild cabbage was found on the rocks of the coast on the island of Lalande in Denmark, on the island of Heligoland, in the south of England, in Ireland, Normandy, on the islands of Jersey and Guernsey, in the department of Lower Charente in France."

13.1.1 Biological characteristics of culture

"White cabbage - *Brassica oleracea* L. var. *alba* DC. belongs to the cabbage family Brassicaceae Burnett, genus *Brassica* L. According to morphological and biological characteristics, it is close to red cabbage". "White cabbage is a biennial plant. The cabbage development cycle consists of several stages: seed germination and the emergence of seedlings, the initial growth of the rosette and roots, the accumulation of leaf mass and the further development of the root system, the formation of the fruit organ and the appearance of inflorescences, flowering, fruiting and ripening of seeds. On the 3rd-4th day, cabbage seeds germinate quickly under favorable growing conditions. Coarse seeds give better and stronger seedlings. More intensive growth of plants begins on the 20-40th day after planting, because the accumulation of leaf mass and the further development of the root system are carried out. At this time, the root system grows up to 60 cm wide and plants can form 1 to 5 leaves in five days. In the production of white cabbage, you should know the peculiarities that the formation of the head begins before the leaves of the rosette reach their maximum size. When it reaches a diameter of 7-8 cm, white-headed cabbage acquires a characteristic shape for a particular variety in terms of technical ripeness. At this stage of growth, the upper leaves of the head acquire a certain shine and change color. In the first year, a head is formed - an overgrown apical bud in which nutrients are stored. Over the course of 1.5-2.5 months, depending on the type of white cabbage, a head is formed. During this period, the outer cob thickens.

13.1.2 Agrotechnics of crop cultivation

The technology of growing white cabbage corresponded to the generally accepted technology for the steppe zone. The seedling method was used. Seedlings were grown in cassettes. Seedlings were dived in the phase of formation of the second true leaf. When the fourth leaf appeared, top dressing was carried out twice. Before planting white cabbage seedlings in the soil, the cassettes were well watered. The next morning, culture seedlings were taken from the moist soil of the cassettes, selecting the most developed white cabbage plants, and underdeveloped and damaged plants were also culled (Fig. 1).



Figure 1. White cabbage seedlings before planting on the experimental field, 2021.

Early potatoes were chosen as the precursor in the experiment to establish the scheme of the experiment. The layout of white cabbage plants was laid out according to the scheme of the experiment.

13.1.3 Biometric indicators of plants

Since white cabbage belongs to light-demanding plants, special attention should be paid to the area of culture nutrition in the production conditions of management.

Therefore, it is important to determine the optimal schemes for the placement of white cabbage plants, which will allow obtaining the maximum indicators of the productivity of the leaves of the crop, due to a larger area of the assimilation surface and, accordingly, a higher level of yield of white cabbage. Therefore, it is necessary to ensure optimal lighting conditions when growing crops. According to the results of the study, it was established that the size of the leaf area of white cabbage plants changed significantly depending on the scheme of placing the plants and the area of their nutrition, which are shown in the table. 1.

Table 1 - Biometric parameters of white cabbage plants depending on from thickening of plants, 2021

Plant arrangement scheme, see	Number of plants, thousands of plants/ha	Leaf area	
		of one plant, m ²	per hectare, thousand m ²
70×60 – St	23,8	2,19	51,8
70×50	28,6	2,08	59,5
70×40	35,7	1,84	65,3
70×30	47,6	1,74	82,0

Thus, under the layout of 70×60 cm (control), the area of the leaves of one plant was the largest and was 2.19 m². However, with such a scheme of planting white cabbage, this indicator per unit area was the smallest at 51.8 thousand m², since the density of culture plants under sparse placement was 23.8 pcs./ha, which is almost half as much as compared to the dense scheme. When placing plants according to the scheme of 70x50 cm, the leaf area of one white cabbage plant was slightly smaller - 2.08 m², from one hectare this indicator increased due to a larger number of white cabbage plants to 59.5 thousand m². Indicators for the scheme of planting culture plants 70x40 cm provided for the formation of a leaf surface from one plant at the level of 1.84 m². The smallest area of white cabbage leaves was recorded in the thickened scheme of 70×30 cm and was 1.74 m² in the experiment. At the same time, the feeding area of each white cabbage plant was significantly reduced, and the leaves of the crop

were slightly smaller in size, and this, in turn, led to a decrease in the analyzed indicator.

13.1.4 Changes in morphological indicators of cabbage plants

Our own research data on the indicators of leaf formation in white cabbage showed that a greater number of them were formed according to the scheme of liquid placement of culture plants (70x60, 70x50 cm), since under such growing conditions each plant had a larger area of nutrition area, and accordingly maximally used this opportunity. It should also be noted that under these schemes they developed faster and grew more intensively. On the basis of two-year experimental studies, it was established that, in white cabbage, the most leaves at the end of the third decade of July were counted in the control, and it was 18 pcs. (Table 2).

Table 2 - The number of leaves in white cabbage depending on the scheme of planting seedlings, 2021

Plant arrangement scheme, see	The number of leaves on a plant, pcs.								
	date								
	30.07	10.08	20.08	30.08	10.09	20.09	30.09	10.10	15.10
70×60 – St	18	20	23	27	24	22	20	18	
70×50	17	20	22	26	23	21	19	17	
70×40	16	19	20	21	22	20	18	16	15
70×30	15	17	20	20	21	20	18	16	14

And according to the variant with the 70×50 cm culture placement scheme, 17 pieces were counted, according to another variant of the 70×40 cm leaf experiment, only 16 pieces were already formed. The smallest number of white cabbage leaves is 15 pcs. culture plants were formed according to the 70×30 cm variant of the experimental scheme. Later (data as of 30.08.) with the placement of 70×60 and 70×50 cm, the plants formed the largest number of leaves during the growing season - 27 and 26 pcs. In the case of the 70×40 and 70×30 cm scheme, which we consider to be

thickened, the maximum number of leaves per plant was formed, namely 22 and 21 pieces, observed after a decade (data 10.09).

The results of our own experiments show that the placement schemes of white cabbage quite clearly affect the rate of growth and development of the leaves of the crop, and should be taken into account by producers in the implementation of industrial production. According to observations on 20.09, most of them were formed in a row when the distance between plants increased, and the number was 22 pcs. According to the 70×50 cm culture placement scheme, it was slightly less by one and consisted of 21 pieces. The decrease was 4.5%. When the white cabbage plant was planted in rows up to 40 and 30 cm apart, the number of leaves decreased by 4.5% and amounted to only 20 pieces.

According to the following observations on September 30, according to the 70x60 cm culture placement scheme, the number of leaves was formed the most and amounted to 20 pcs., according to the 70x50 cm scheme, a decrease of 5% is also observed, and it is only 19 pcs. At least their number is 18 pcs. was formed by a white cabbage plant according to the last two variants of the experiment (70×40 - 30 cm). According to further observations in the experiment, which were at the end of the first decade of October, according to the scheme of placement of the culture of 70x60 and 70x50 cm, white cabbage plants formed the number of leaves of 18 and 17 pcs. Therefore, our own research results made it possible to draw the conclusion that the scheme of plant placement affects the results, so when white cabbage plants were thickened to 40 and 30 cm, the number of plant leaves decreased by 2 and 3, respectively. compared to the control version of the experiment (70x60 cm), which is from 4.5 to 5%.

We determined and analyzed the indicators of the increase in the head of white cabbage depending on the thickening of the plants, which are given in the table. 3. So, at the end of the first decade of August, the beginning of the formation of heads was observed only in the first two variants. According to observations and calculations carried out on 20.08 under different placement schemes, the size of the head of cabbage was within 8.5-10.1 cm. In further studies, in the third decade of August, when using

the experimental schemes of 70x60 and 70x50 cm, the diameter of the heads increased significantly to 13.3 and 12.5 cm.

Table 3 - Increase of the head of white cabbage depending on the thickening of the plants, 2021

Plant arrangement scheme, see	Number of plants, thousand of plants/ha	Diameter of the head, cm							
		date							
		10.08	20.08	30.08	10.09	20.09	30.09	10.10	15.10
70×60 – St	23,8	9,1	10,1	13,3	15,5	16,9	18,2	19,0	19,2
70×50	28,6	8,5	9,4	12,5	14,7	15,8	17,3	18,1	18,3
70×40	35,7	–	8,9	11,8	13,6	15,1	16,5	17,2	17,7
70×30	47,6	–	8,5	11,4	13,1	14,5	15,8	16,8	17,2

With a thickened scheme (70×40 and 70×30 cm), this indicator was reduced and amounted to 11.8 and 11.4 cm, respectively. In the subsequent observations, which were carried out at the end of the first decade of September, indicators were obtained that indicate the largest size of the food organ according to the control version - 15.5 cm, the smallest was according to the scheme of the experiment 70x40 and 70x30 cm - 13.6 and 13.1 cm respectively.

Somewhat different indicators were observed on the second version according to the 70x50 cm experiment scheme and were equal to 14.7 cm, which is 5.2% less than with the control version. On September 20, white cabbage plants placed according to the experimental scheme of 70x60 and 70x50 cm had head sizes of 16.9 and 15.8 cm, which is 9% and 1.9% more compared to the control variant. The use of planting schemes resulted in slightly lower diameter figures for the smaller diameter head (15.1 and 14.5 cm).

At the end of September, the largest heads were also in the 70x60 and 70x50 cm experimental schemes - 18.2 and 17.3 cm, and the smallest - in the variants with the 70x40 and 70x30 cm planting schemes - 16.5. and 15.8 cm. According to the results of the research of the first decade of October, according to the scheme of 70x60 cm of the

head, a pattern of cessation of growth and development was observed, but their size reached 19 cm, which was the largest, compared to its diameter according to other schemes. Thus, the largest diameter of the food organ was according to the scheme 70×60 and 70×50 cm, and was equal to 19.2 and 18.3 cm, respectively.

But it is worth noting the conclusion that when the distance between the white cabbage plants was reduced to 40 cm, this indicator was formed at the level of 17.7 cm, and according to the most thickened method of placing the culture plants (70x30 cm), the head was formed with the smallest diameter at the level of 17.2 cm.

With the increase in the feeding area of the late-ripening white cabbage hybrid, the productivity of one plant increased and the yield per unit area decreased. The concentration of plants in a row helped to increase the yield of heads due to an increase in the number of plants per unit area.

13.1.5 Productivity and marketability of harvested cabbage

According to the results of experimental studies, a direct dependence of the intensity of growth and development of Zoltan cabbage hybrid plants on the density of plant placement was found, which subsequently influenced the mass of the head of the crop (Table 4).

Table 4 - Weight of a head of white cabbage depending on plant density, 2021

Plant arrangement scheme, see	Weight of the head, kg	
	Weight of the head, kg	V, %±Sx, %
70×60 – St	3,35	6,4±1,8
70×50	3,12	6,0±1,7
70×40	2,21	6,6±1,8
70×30	1,66	6,8±1,9

The results of the experiment showed that the largest mass of heads of white cabbage was observed in the late-ripening hybrid Zoltan according to the scheme of plant placement 70x60 and 70x50 cm and it was 3.35 and 3.12 kg, respectively. Due

to the large size of plants in the Zoltan hybrid, the thickening of plants in a row did not lead to a further increase in the size and weight of the head. According to other schemes of the experiment, with a distance of plants in a row of 40 cm, this indicator was equal to 2.21 kg. According to the scheme of planting a culture of 70x30 cm, white cabbage plants had the opportunity to form heads weighing 1.66 kg.

On the basis of the obtained data, it was established that the placement scheme of white cabbage plants had a significant influence on the yield of the crop (Table 5).

Table 5 - Productivity of white cabbage depending on plant density, 2021

Plant arrangement scheme, see	Productivity, t/ha	Productivity increase, t/ha	Marketability, %
70×60 – St	83,5	-	95
70×50	94,6	+ 11,1	94
70×40	86,5	+ 3,0	90
70×30	86,5	+ 3,0	89
LSD ₀₅ , t/ha	4,3	-	-

The analysis of the obtained data shows that the mid-late hybrid Zoltan produced the highest yield in the 70×50 cm plant placement scheme – 94.6 t/ha, which is 11.1 t/ha higher than in the control.

The lowest yield of white cabbage was achieved in the control version - 70 × 60 cm - 83.5 t/ha. On the plants placed according to the 70x40 and 70x30 cm scheme, a yield of 86.5 t/ha was achieved, which is a slight excess compared to the control. The interrelationship between marketability and variants of the plant placement scheme is noted.

Thus, the schemes of 70 × 60 and 70 × 50 cm ensured the marketability of white cabbage at the level of 95 and 94%, respectively. Analyzing the presented one-year research results, we found out that the best conditions for the growth and development of plants, the process of formation of heads, and the achievement of the highest productivity of white-headed late-ripening hybrid Zoltan cabbage are provided by plant placement schemes - 70x50 cm.

Preliminary conclusion

The obtained one-year results of the field experiment give us the opportunity to draw a preliminary conclusion:

In order to obtain the maximum productivity of late-maturing cabbage of the white-headed hybrid Zoltan, it is necessary to plant seedlings of the crop according to the scheme of 70x50 cm. At the same time, the yield of the crop will be almost 95 t/ha. In order to issue recommendations to crop producers, a further field experiment according to this scheme is required.

SECTION 14. WIND POWER

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.4.14.1

14.1 Analysis of «horizontal» wind turbines from different aspects

Abstract

The contribution of wind turbines in energy production has increased over the years and has reached an irreplaceable point. The environment that a wind turbine requires to get a lot of energy is more of an offshore environment. Since the amount of energy received by the wind turbine depends on the wind pattern, it is possible to conclude that the offshore environment is sufficient to provide turbine with this wind pattern. Since the efficiency of turbines depends on various parameters, they can increase and decrease, so these parameters must be continuously monitored. Determining, evaluating and mitigating external impacts on offshore turbines can extend the likelihood of turbines. A number of successful offshore projects can be listed, which greatly contribute to the implementation of future projects in the offshore environment. The field of application of wind turbines is more onshore than offshore. In this regard, it may be possible to apply its field of application to marine vehicles as well. This research paper will explain the potential of wind turbines, their importance, external influences on it, its types, implemented projects, its advantages and disadvantages.

Keywords

Wind Energy, Offshore Wind Farms, Wind Turbine Efficiency, Wind Speed, Blade Friction, Turbine Layout, Environmental impact, Wind Farm Planning, Wind Farm Planning

14.1.1 Introduction

These days, as the world's need for energy increases, it is important to increase the scope of ways to obtain this energy. There are various sources of electricity that we use, various techniques, and different ways of applying these techniques. Just as the types of energy sources have different efficiency, the environment in which we obtain these energy sources also plays a large role as a factor that directly affects efficiency.

Wind energy, which is a type of renewable energy, is one of the most advanced alternative energy sources, either from the economic point of view, from the point of view of efficiency, also view of the cleanliness. The interest of energy companies in this type of energy sources, as well as their efforts to increase their field of application, and the support allocated to conveying this interest to the society, have developed the application of this field and aroused new interests. The creation of wind both naturally and artificially, has made it possible to special the installation of wind turbines in the mountains, fields, oceans, sea, various parts of the city, transport vehicles and etc. The environment in which we use wind turbines demands from us which type of turbine we will use according to the requirements of this environment. The primary considerations influencing the placement of turbines typically include maximizing energy output, visual impact, noise levels, wind speed, and the loads imposed on the turbines. Wind energy represents a substantial opportunity for reducing greenhouse gas (GHG) emissions in both the short-term (by 2020) and the long-term (by 2050). Numerous wind energy technologies cater to various applications, but the predominant approach for climate change mitigation involves generating electricity through larger grid-connected wind turbines, which can be deployed either onshore or offshore. Developers of wind farms have the option of choosing between onshore and offshore locations. Offshore wind farms are often favored over their onshore counterparts for several reasons, including their higher wind potential characterized by stronger and more consistent wind profiles.

The use of wind energy in the marine environment has existed since ancient times, so it is possible to assume that it was the first alternative energy source used by ancient people. For the first time, wind energy was used to move ships from one point to another. As far back as 5,000 BC, wind energy found practical applications as it was harnessed to propel boats on the Nile River. By 200 BC, basic wind-driven water pumps were already in use in China, and windmills featuring blades made from woven reeds were employed to grind grain in regions like Persia and the Middle East. While harnessing wind energy in a marine environment can be highly effective and efficient, the installation of turbines can pose a variety of challenges. The development,

production, and operation of offshore wind facilities present distinct challenges, encompassing issues such as corrosion, fatigue, erosion, lightning strikes, and biofouling. As the dependence on offshore wind energy continues to expand, it becomes progressively more vital to tackle these challenges and ensure the ongoing operational efficiency of offshore wind turbines. Otherwise, wind turbines in marine environments, particularly offshore, benefit from consistent and stronger winds, resulting in higher energy production efficiency. The reduced wake effects between turbines and access to high-voltage grids near population centers contribute to improved overall efficiency. Larger and more powerful offshore turbines further enhance energy capture, making offshore wind energy an attractive and efficient renewable energy source. It is essential to expand the range of wind turbine installations in marine environments, including both stationary configurations like Offshore Wind Farms (OWF) and dynamic setups such as those installed on ships. A primary motivation for enhancing wind turbines mounted on ships is the consistent airflow they encounter. When ships are in motion, irrespective of the wind's direction, the aerodynamic force generated by the ship allows for the continuous rotation of the turbine.

Offshore wind farms are typically classified into three main categories: Fixed-Bottom, Floating, and hybrid systems. Fixed-Bottom wind farms, the most common type, secure turbines to the seabed using steel or concrete foundations. In contrast, Floating wind farms employ buoyant platforms tethered to the seabed with cables or chains, adapting to wave motion for stability, while hybrid systems combine aspects of both technologies for optimal performance. The deployment of vertical axis wind turbines (VAWTs) in offshore environments presents specific challenges, notably their lower energy capture efficiency compared to horizontal axis turbines (HAWTs), which are the more established choice in offshore applications. Maintenance can be intricate due to the complexity of VAWT mechanical systems, and scaling them up to match the power output of larger HAWTs poses challenges. Furthermore, engineering stable and cost-effective floating platforms for VAWTs in deep waters remains a significant technical and economic concern. However, VAWTs demonstrate distinct advantages in

dynamic settings, such as marine environments. In maritime contexts, VAWTs often outperform HAWTs, as they can capture wind from any direction, adapting to changing wind conditions at sea. Their compact design, stability in dynamic maritime conditions, and ease of maintenance make them a favorable choice for ship-mounted wind energy generation. This research paper will explore the performance of both wind turbine types, analyze their constraints, investigate emerging technological applications, and present my unique perspective on their potential applications in innovative technologies.

14.1.2 Methodology

14.1.2.1 Overview of measurement:

Wind turbine deployment in the marine environment necessitates strict conformity to existing criteria as well as fabrication influenced by empirical data. Because turbine performance varies with environmental conditions, turbine design, external forces, and ongoing evaluation, freshly erected wind turbines are expected to lose performance as time goes on. Offshore wind farms reap the rewards of increased constancy in wind output and availability, resulting in more predictable and efficient supply of electricity. Let's first examine the factors that enhance the efficiency of wind turbines and those that diminish their effectiveness.

14.1.2.2 Factors that enhance the efficiency

The efficiency of wind turbines can change, taking into account several factors. Some of these factors can change taking into account optimal regimes, others can remain as a negative factor in wind turbine optimization process.

14.1.2.2.1 Wind speed and length of wind season

The amount of power generated by a wind turbine is primarily determined by the wind speed. Wind power density is directly proportional to the cube of wind speed. Assuming all other factors remain constant, a 10% rise in wind speed leads to a 33% increase in wind power output.

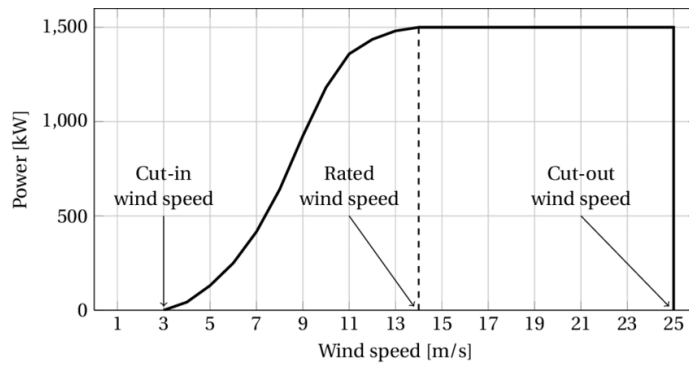


Figure 1. An illustration of a 1500 kW wind turbine's power graph

Wind turbines are carefully engineered to operate effectively within a specific range of wind speeds, defined by the cut-in speed and cut-out speed. The cut-in speed represents the minimum wind velocity at which the turbine can begin generating power, with power output increasing exponentially with wind speed between the cut-in and rated speeds. However, beyond the rated speed, the cubic relationship levels off. The cut-out speed signifies the point at which the turbine must be shut down to prevent equipment damage. These crucial parameters are determined based on the turbine's design and size during the pre-construction planning phase.

14.1.2.2.2 Diameter of the rotating blades

Enlarging rotor diameters empowers wind turbines to cover a wider expanse, harness more wind, and generate increased electricity. Longer blades on a turbine enable it to efficiently capture a greater portion of the available wind, even in regions characterized by lower wind speeds. This capability to harness more wind at lower wind speeds has the potential to expand the range of suitable locations for nationwide wind energy development.

The most comprehensive formula for calculating the power generated by a wind turbine (measured in Watts) is:

$$P = 0.5 \times C_p \times \rho \times \pi \times R^2 \times V^3 \quad (1)$$

C_p is the coefficient of performance (efficiency factor, in percent), ρ is air density (in kg/m³), R is the blade length (in meters) and V is the wind speed (in meters per second).

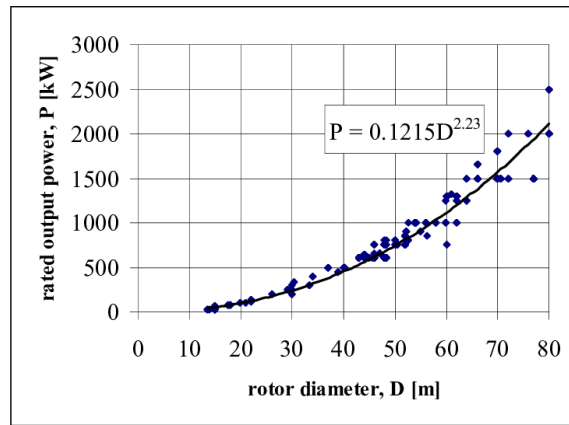


Figure 2. The correlation between the diameter of the rotor and the generated power output in a wind turbine

14.1.2.2.3 The efficiency of wind turbine components

The suboptimal performance of individual wind turbine components has a direct impact on the overall system power output. System efficiency is expected to improve through advancements in blade design, gearbox efficiency, and generator technology. To assess these improvements, degradation models were developed, focusing on gearbox degradation levels, a critical component of wind turbines. These models utilize an artificial neural network (ANN) with a unique architecture to monitor deviations in wind power curves, using the cumulative summation (CUSUM) change detection algorithm to pinpoint changes in gearbox efficiency based on predicted power residuals. In this study, we explore three distinct operating modes for the WT "DeWindD6—1250 kW," each associated with varying levels of gearbox efficiency degradation. This degradation in gearbox efficiency can arise from factors such as inadequate lubrication, elevated temperatures, and mechanical losses, including torque losses due to friction between the High-Speed Shaft (HSS) and Low-Speed Shaft (LSS).

$$HSS(\text{torque}) = \frac{LSS(\text{torque}) \cdot \text{efficiency}}{\text{gearbox ratio}} \quad (2)$$

$$LSS(\text{torque}) = \frac{HSS(\text{torque}) \cdot \text{efficiency}}{\text{gearbox ratio}} \quad (3)$$

Sustained control and monitoring of the yaw controller, generator, and shafts are essential for achieving the maximum potential output from the generator system.

14.1.2.2.4 Pitch control

The pitch of a turbine blade refers to the angle of its leading edge facing the wind. The degree of pitch plays a crucial role in the performance of the turbine, as excessive pitch can lead to insufficient airflow over the blade (when too narrow) or excessive drag (when too wide). To optimize power output and prevent the turbine from exceeding its maximum rotational speed, wind turbines adjust their blades by rotating them. This rotation ensures that the blades harness the appropriate portion of the available wind energy. To manage the pitch angle of wind turbine blades during power outages, engineers have traditionally relied on motors powered by lead-acid batteries, which typically last between three to five years and can be challenging to monitor.

A typical pitch controller, which may have been in operation for five years or more, can contain a multitude of components, including thousands of wires and termination points, introducing numerous potential points of failure. Pitch System 3 addresses this by reducing the conventional part count by 60% and extending the intervals between scheduled maintenance. This innovative technology and design approach applied to pitch controllers could soon find applications in more conventional power generation facilities.

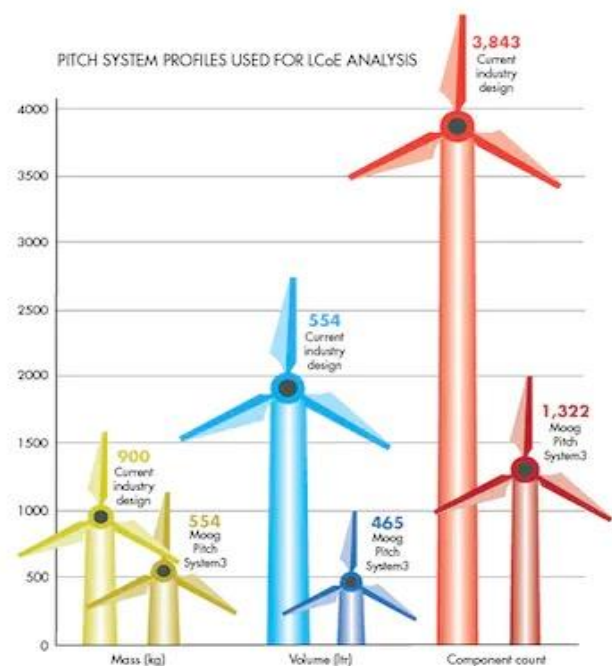


Figure 3. Pitch system profiles LCoE Analysis

14.1.2.2.5 Arrangement of the turbines in the farm

The engineering planning process for a wind farm typically encompasses essential decision-making aspects, which may include (but are not restricted to) the following:

- I. the layout of the turbines in the wind farm,
- II. the number of wind turbines to be installed, and
- III. the types of wind turbines to be installed.

The overall power output of a wind farm is often notably lower than what would be expected from multiplying "the power generated by an individual turbine" by "the total number of identical turbines (N)" in the farm. This reduced efficiency can be attributed to energy losses caused by wake effects, specifically, the shadowing impact of one wind turbine on others situated downstream from it. As it appears, the solution doesn't lie within technological advancements but rather resides in the realm of atmospheric science. Our investigation, conducted roughly a decade ago, centered on understanding the limitations of harnessing wind energy to its fullest potential. The central idea revolves around the impact of turbines on the atmosphere; they extract the kinetic energy necessary for them to operate. The total power output of a wind farm results from the cumulative contributions of individual turbines, with each contribution linked to wind speed profiles applied to respective turbines. Consequently, calculating parameters such as **dti** and **dsi**, as outlined below, becomes crucial:

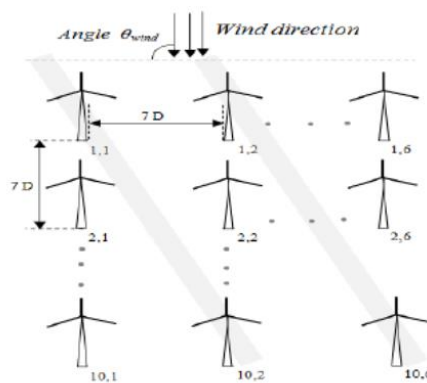


Figure 4. Optimum tower spacing in wind farms in flat terrain

$$dt_i = \frac{7D}{V_{1\text{ mean}}} i \quad (4)$$

$$ds_i = b_i \quad (5)$$

Where, $V_{1\text{mean}}$ is the average value of wind speed for first line ($i=1$), D represents the wind turbine diameter, and b is between 2% and 4%. The estimation of the wind speed profile for each wind turbine can be conducted using the following equation:

$$V_i = V_1 \left(t - \frac{7D}{V_{1\text{mean}}} i \right) (1 - b_i) \quad (6)$$

The aggregate power output generated by the wind farm is:

$$P_p = 6 \sum_{i=1}^{10} P_i \quad (7)$$

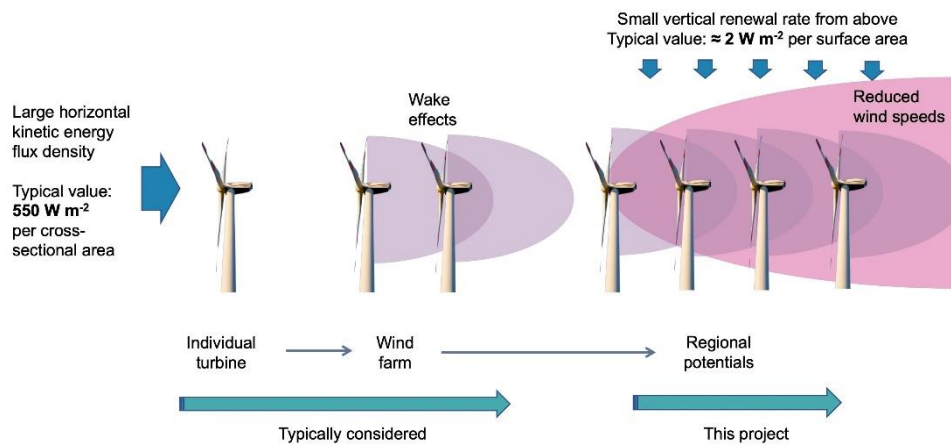


Figure 5. As wind farms are bigger, they have a bigger effect on slowing down the local wind, which lowers the efficiency of the turbines.

Turbines leave behind a reduced amount of energy because the atmosphere's capacity to generate and transport kinetic energy is thermodynamically limited to a relatively low power and renewal rate. This effect is not significant for a single turbine, but as the number of turbines under consideration increases, it becomes increasingly pronounced, as demonstrated here. It's worth noting that this phenomenon extends beyond the wake effects observed behind individual turbines, which are well-understood, modeled, and factored in (refer to Figure).

14.1.2.3 Factors that diminish the efficiency

The principle of mass conservation dictates that the volume of air entering and exiting a turbine must be in equilibrium. Consequently, Betz's law establishes the maximum attainable wind power extraction by a wind turbine at $16/27$ (approximately 59.3%) of the rate at which the kinetic energy of the incoming air is delivered to the

turbine. If the effective area of the disk is A , and the wind velocity v , the maximum theoretical power output P is:

$$P = \frac{\rho \times v \times A^3 \times 8}{27} \quad (8)$$

- Power (P) is typically measured in Watts (W).
- The density of the air (ρ , Greek letter "rho") is represented in units of kilograms per cubic meter (kg/m^3).
- The cross-sectional area of the wind (A) is measured in square meters (m^2).
- The velocity of the wind (v) is expressed in meters per second (m/s).

It is undeniable that the power increases by a factor of 8 when the velocity doubles, and by a factor of 27 when the velocity triples. Due to the velocity's cubing, $2^3 = 8$ and $3^3 = 27$, respectively. The cube of the wind velocity has a significant impact on the power output in wind turbines.

Wind Speed and Corresponding Power Output (kW)

wind speed (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
power output (kW)	-0.5	-0.5	1.2	7.2	14.5	24.7	37.9	58.7	74.8	85.1	90.2	94.7

Wind Speed and Corresponding Power Output (kW)

wind speed (m/s)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
power output (kW)	95.3	95.1	94.2	92.9	91.2	88.9	87.1	84.1	81.3	78.6	75.1	74.3	71.7

14.1.2.3.1 Aerodynamic drag

Both aircraft engineers, responsible for crafting airplane wings and propellers, and wind turbine engineers, who specialize in rotor blade design, share a common concern for aerodynamic drag. The concept of drag remains a critical consideration whenever an object moves swiftly through the air. In the case of aircraft, achieving optimal fuel efficiency is paramount, while for wind turbine rotor blades, maintaining high tip speeds is essential for efficient operation.

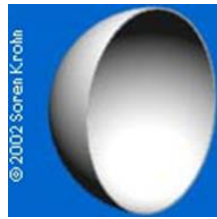


Figure 6. A parachute's design exhibits a notably elevated drag coefficient of 1.42

The drag coefficient, denoted as C_D , represents the drag force per square meter of the object's frontal area. It's important to note that drag escalates with the square of the wind speed. In contemporary wind turbines, the rotor blades operate at significantly high tip speeds. The tip-speed ratio, referred to as λ or TSR for wind turbines, is the ratio between the tangential speed and the linear wind speed.

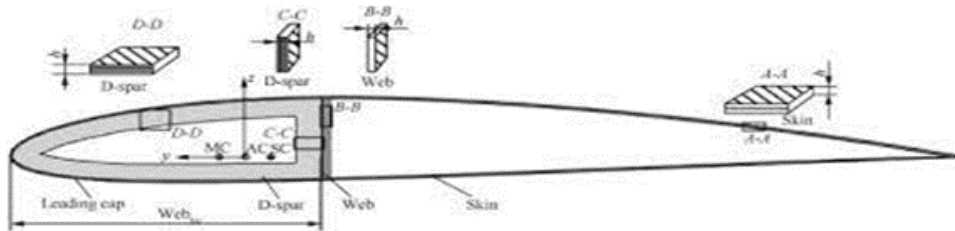


Figure 7. Airfoil shaped rotor blades ($C_d = .045$)

Increased tip speeds lead to elevated noise levels and necessitate sturdier blades to withstand greater centrifugal forces. To achieve optimal efficiency, it becomes crucial to employ airfoil-shaped rotor blades with exceptionally high lift-to-drag ratios, especially in offshore environments. Additionally, it's important to note that both lift and drag are directly proportional to the air's density. Colder air, therefore, results in more significant drag compared to warmer air. This enables us to consolidate all the various effects, whether straightforward or intricate, into a unified equation. Known as the drag equation, it states that drag D is equal to the drag coefficient C_d times the density ρ times half of the velocity squared V^2 times the reference area A .

$$D = C_d \times A \times 0.5 \times \rho \times V^2 \quad (9)$$

14.1.2.3.2 Blade friction

Blade friction within a wind turbine pertains to the obstruction faced by the turbine blades during their rotation in the air. This phenomenon represents a type of aerodynamic drag, which has the potential to diminish the turbine's overall efficiency. Blade friction accomplishes this by transforming a portion of the wind's kinetic energy into heat, ultimately diminishing the power output of the turbine. The frictional torque experienced by a bearing can be categorized into two components: one that is independent of the load and another that is contingent on the load. The load-independent portion T_0 takes into account an empirical value f_0 and the bearing diameter D_M ,

The model does not incorporate speed dependence for low rotational speeds, as is commonly observed in pitch bearing applications.

$$T_0 = f_0 \times 10^{-7} \times 160 \times D_M^3 ; \text{ if } (v \times n) < 2000 \frac{m^2}{60 \times s^2} \quad (10)$$

The load-dependent part T_1 depends on another empirical value f_1 , the bearing diameter D_M and the equivalent load P_1

$$T_1 = f_1 \times P_1 \times D_M \quad (11)$$

Opting for suitable lubricants appears to be a viable strategy for mitigating wear in turbine bearings. The conditions encountered in blade bearings pose significant challenges for the effective use of grease lubricants.

	Thickener	Base oil	NLGI	Viscosity
Grease 1	Lithium complex	Mineral / Synthetic	1	130 mm/s ²
Grease 2	Lithium	Synthetic	2	50 mm/s ²
Grease 3	Lithium	Ester	1-2	320 mm/s ²

Figure 8. measured lubricants with grease characteristics

14.1.2.3.3 Air Density

Power output hinges on local air density, which varies with altitude, pressure, and temperature. Near coastal areas, wind speeds are elevated due to temperature disparities between land and the ocean, with higher air pressure above the sea drawing air from the coast. Notably, the difference in heating rates between land and water

results in warmer air rising over land, leading to lower surface pressure, while colder air over the ocean creates higher surface pressure; denser air, in turn, exerts greater pressure on the turbine rotors, yielding higher power output.

Air density is typically considered as 1.225 kg/m^3 , The reference air density is typically established at sea level with a temperature of 15 degrees Celsius. It's crucial to consider that wind turbines can yield significantly more power in colder conditions due to the higher air density, in contrast to warmer seasons. In power curve analysis, a standardized air density value is utilized to represent the average air temperature at sea level, necessitating the application of air density correction in pitch-regulated wind turbines, wherein a corrected wind speed (V_o) is calculated using the provided equations.

$$\rho = 1.225 \left[\frac{288.15}{T} \right] \left[\frac{B}{1013.3} \right] \quad (12)$$

And,

$$V_c = V_m \left[\frac{\rho}{1.225} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

where V_c and V_m are the corrected wind speed, measured in meters per second, and the adjusted air density are computed using Equation (x), where 'B' represents atmospheric pressure in mbar, and 'T' corresponds to temperature in Kelvin. These values are derived from 10-minute average data obtained from SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) systems, which are a combination of software and hardware components used by industrial organizations to oversee, remotely control, collect real-time data, and interact with various devices like sensors, valves, pumps, and motors. The corrected wind speed is then (V_c) the power curve is typically calculated using the corrected wind speed derived from Equation 3, often through a binning process.

14.1.2.3.4 Corrosion of OWTs

Conventional monopile offshore wind turbines (OWTs) typically feature diameters ranging from 3 to 8 meters and are economically viable for water depths spanning 20

to 40 meters. The ongoing advancement in monopile technology involves the development of larger diameters and lengths. In contrast, the TetraSpar floater is designed for installation at water depths ranging from 10 meters to as deep as 1000 meters. Corrosion in wind turbines exposed to water is an inevitable process, with the extent of corrosion increasing notably in greater water depths. Unlike the approach for critical rotating

components, addressing corrosion in wind turbine structures relies on a time-based schedule, involving periodic manual inspections usually conducted annually, significantly inflating overall operations and maintenance (O&M) costs. Given the harsh and corrosive environmental conditions offshore wind turbines (OWTs) endure, corrosion remains a leading cause of structural failures in offshore installations.

Types of Corrosion:

1. Galvanic corrosion
2. Atmospheric corrosion
3. Pitting corrosion
4. Crevice corrosion
5. Stray-Current induced corrosion
6. Corrosion Fatigue
7. Hydrogen induced cracking



Figure 9. Types of corrosion in marine environment

Corrosion of offshore structures is influenced by distinct exposure zones. These zones include the permanently submerged area, which typically employs cathodic

protection and coatings. The tidal zone, experiencing wetting and drying cycles due to tidal changes, requires protective coatings due to degradation from chemical exposure, wave abrasion, and microbial activity. Above that, the splash zone endures direct water splashes, leading to increased corrosion as water evaporates and leaves behind salts, often necessitating multi-layer coating systems like those containing glass flake polymers.

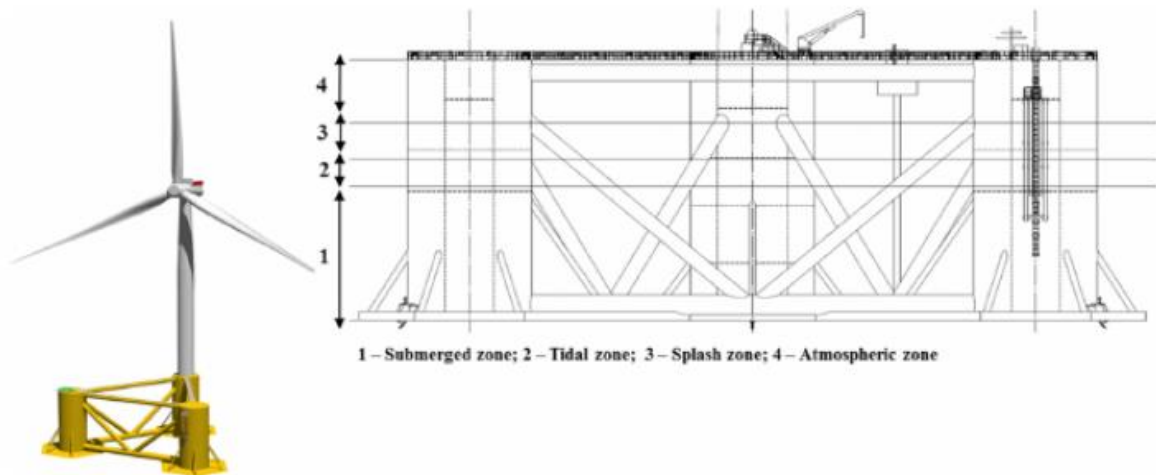


Figure 10. "The Offshore WindFloat platform's structural makeup and regions that are vulnerable to corrosion. PPI, Principle Power Inc. (Emeryville, CA, USA), is given credit.

Monopile foundation structures face both external and internal corrosion concerns. External corrosion, akin to issues in other offshore industries, is addressed following industry guidelines inspired by the oil and gas sector. Cathodic protection (CP) using galvanic anodes is a well-established technique, with DNV-RP-B4011 offering comprehensive guidance on CP design, anode production, and installation. Conversely, internal corrosion protection for monopile wind turbine foundations is not covered by existing industry standards, leaving this aspect to individual owners or designers. In past projects, internal corrosion protection relied on corrosion allowance achieved through increased material thickness, assuming airtight conditions within the monopile structure and low, consistent corrosion rates due to the depletion of dissolved oxygen in seawater.

The calculation of the corrosion allowance (CA) can be determined based on the provided corrosion rates outlined in DNV-RP-0416 (DNV, 2021b, Section 7). The equation describing this process is as follows:

$$CA = V_{corr}(T_D - T_C) \quad (14)$$

where V_{corr} is the maximum expected corrosion rate, T_C is the expected useful design lifetime of the coating and T_D is the design lifetime of the structure.

14.1.2.4 Wave loading on the wind turbine tower

In the realm of floating offshore wind turbine design, the roles of wind engineers and ocean engineers are distinctly separated. Ocean engineers focus on floater responses independently of the wind turbine superstructure, while wind engineers concentrate on wind loads impacting the turbine. Collaboratively, they work to calculate wave-induced loads by incorporating floater motion.

For catenary systems, both sway and rocking motions significantly affect tower loading, necessitating consideration of their combined impact. Finite Element Method (FEM) simulations indicate that the maximum sway and rocking responses do not necessarily align, yet a discernible correlation exists between them. This correlation draws reference from seismic load specifications in AIJ (Architectural Institute of Japan) standards.

14.1.2.4.1 Equivalent Wave Force of floating wind turbine

Given that the ocean engineer can provide data on the tower base response in actual projects, including displacement $[x_1]$, velocity $[v_1]$ and acceleration $[a_1]$ at the tower base are given. In this research, the tower base response can be derived through simulation, and modal analysis allows for the computation of the equivalent wave force.

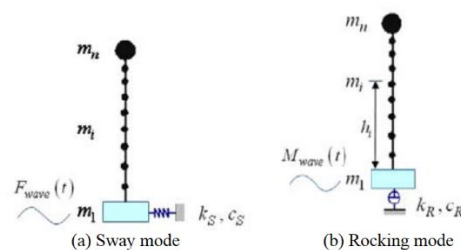


Figure 11. Sway and Rocking mode of turbine tower

Sway motion, also known as surge motion, can be modeled using a lateral spring, while rocking motion, or pitch motion, can be represented with a rotational spring. The influence of floater motion is taken into account by applying a wave force to the floater.

The equivalent wave moment in rocking direction can be calculated by locking the sway mode and using the modal analysis as well:

$$M_{wave(t)} = \frac{\theta_1^R(t)}{\sum_{j=1}^n [H_j^R(\omega)] \varphi_{1j}^{R2}} \quad (15)$$

$\theta_1^R(t)$ is the angular displacement at the base of the tower, $[H_j^R(\omega)]$ is the frequency response function, and $\varphi_{kj}^R (k = 1, \dots, n)$ is the mode shape normalized for the j-th rocking mode.

14.1.2.4.2 Prediction of vave induced load

In cases involving irregular waves, the tower loading exhibits a random behavior. Consequently, the consideration of both standard deviation and peak factor becomes crucial, with their product utilized to determine the maximum load using the equivalent static method. Notably, it has been observed that as the wave period lengthens, the two peaks diminish due to the increased frequency difference from the wave, resulting in a weaker external exciting effect. This diminishing non-Gaussianity with longer wave periods explains the significant skewness (3α) observed in the tower base shear force for tension leg systems, as illustrated in Figure 12, within the 10s-15s period range, but its negligible presence after 16s. The estimation of this skewness is derived from simulations of tension leg floating wind turbine systems. Therefore, for tension leg systems, tower loading is considered a non-Gaussian process, in line with Kareem's model (1998).

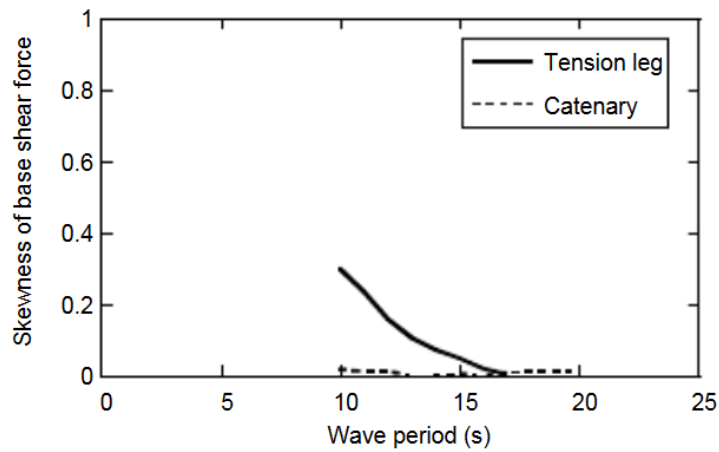


Figure 12. Comparison of the skewness of the tower base shear force produced by a catenary system and a tension leg system

14.1.2.5 Power curve adjustments of OWTs for temperature and altitude

The wind power curve, depicting the relationship between wind speed and wind turbine output, stands as a pivotal characterization parameter for wind turbines. This curve serves multifaceted purposes, enabling the quantification and scrutiny of wind turbine design performance, database monitoring, operational mode control, and product manufacturing oversight. Its utility extends to tasks like rotor size selection for evaluating wind energy potential at potential wind sites and appraising the control mechanisms for operational conditions. In the context of wind farm modeling strategies, primary objectives include optimizing wind power generation and minimizing dynamic loads.

When utilizing established models like the standard atmospheric profile, the annual average air density of a site is regarded as a function of height. This approach is employed to derive mean pressure and temperature values at the given altitude, subsequently determining the consistent air density for that particular site. In cases where wind turbines operate at high altitudes with air densities below the standard sea-level value, it might necessitate a comprehensive blade redesign to accommodate these conditions.

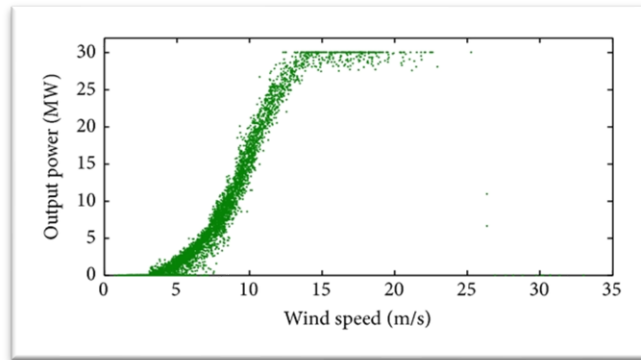


Figure 13. Power curve using actual data for a group of wind turbines at a wind farm (NREL)

The air density in offshore environments is influenced by factors such as pressure, temperature, and humidity, which in turn impact the power output. Site-specific curves have been developed by taking into account the variation in air density to address this effect. The stochastic characteristics inherent in wind power generation can also be represented through the construction of curves, leveraging real-world data derived from power output and wind speed observations in wind farm operations. This methodology does require a substantial amount of historical data but yields precise models suitable for analysis and forecasting.

The impact of moisture on wind energy remains limited at lower altitudes, as evidenced by the minimum altitude employed in the Nassiriyah power plant. However, it becomes more pronounced at significantly higher elevations. In cases of elevated temperatures, the adjustment of the thickness for stickiness is mandated by the IEC standard, as indicated:

$$\rho_h = \left(\frac{P}{R_d T} \right) \left(1 - \frac{0.378 e_a}{P} \right) \quad (16)$$

Where,

R_d is the dry gas constant, and e_a is the current water vapor pressure is equivalent to :

$$e_a = RH \times e_s \quad (17)$$

The power due to wind turbine was calculated

$$P_{wind} = \frac{C_p \rho_h A u^3}{2} \quad (18)$$

P_{wind} is wind turbine power, C_p : power coefficient A : the rotor area of the wind turbine, u : wind speed. We can apply the ideal gas law and engage in stoichiometric calculations to determine the gas density. This equation demonstrates the temperature-dependent relationship of gas density. The number of moles is denoted as m/M , with m representing the current mass and M signifying the molecular mass of the gas, while density is represented as m/V . It is feasible to derive this equation by examining two distinct environmental scenarios and ensuring the energy produced aligns with it.

$$\omega S_{ref} = \omega S_{real} \times \sqrt[3]{\frac{P_{real} \times T_{ref}}{P_{ref} \times T_{real}}} \quad (19)$$

The reference values (ωS_{ref} , T_{ref} and P_{ref}) are the parameters that characterize the operational conditions of the equipment, which are specified by the manufacturer. The SCADA system relies on fixed power curves for predefined or reference conditions during operation.

14.1.2.6 Vehicle-mounted wind turbine

The Vehicle Mounted Wind Turbine (VMWT) is a system that mounts a horizontal axis wind turbine on vehicles to generate electricity. This paper outlines the design and implementation of VMWT for vehicle-based electricity generation, featuring smart attributes such as a high RPM turbine, convenient weight, practical shape, and portability. The design process for VMWT requires careful consideration, as it shares a basic configuration with Horizontal Axis Wind Turbines (HAWT) but has distinct design criteria due to its unique application.

When the vehicle is in motion, the turbine rotates at a significant RPM, generating mechanical torque (mechanical input) that drives a generator to produce electrical output stored in the battery for future use. Additionally, the efficiency of the turbine blades concerning air force and vehicle speed is considered.

$$V'_1 = V_1 \frac{\sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2m_1m_2 \cos \alpha}}{m_1 + m_2} \quad (20)$$

Where V_1' is the speed after collision for first object, V_1 is speed before collision for first object, m_1 is the mass for first object, m_2 is mass for second object, θ is the angle of deflection.

Incorporating wind turbines into vehicles offers numerous benefits in terms of sustainable energy generation. These turbines can be applied across various domains, including maritime applications at sea, installation on ships, land-based integration in automobiles and trains, as well as aerial use in airplanes.

14.1.3 Types of Wind Turbines for Marine Applications

Typically, fixed foundation offshore wind turbines are deemed technically feasible in regions where water depth does not exceed 50 meters (160 ft) and where average wind speeds are above 7 meters per second (23 ft/s). Contrary to the traditional marine industry interpretation of "offshore," offshore wind power encompasses locations both near the shore, including lakes, fjords, and sheltered coastal zones, as well as deeper waters. While most offshore wind farms employ fixed-foundation wind turbines in relatively shallow waters, the utilization of floating wind turbines in deeper waters is still in its initial phases of development and deployment.

14.1.3.1 Bottom-Fixed foundation

Fixed wind turbine supports of many forms are available for turbine installation, depending on the level of the water and ground constraints. Gravitational foundations are used in shallow depths (0-30m) and consist of large slabs of steel or concrete bases that are set on the floor. Pulling scoop piles, which are likewise made of steel or concrete, are installed without the use of mechanical power by using the fluid pressure disparity formed between the bucket's interior and the surrounding water. Monopile bases, which are utilized in low-lying waters (0-30 m), are made out of a caused pile inbuilt in the seafloor and are frequently preferred for their cost-effectiveness, making them the most generally employed support form.

Tripod fixed bottom supports are used in medium altitudes (67-262ft) and consist of three legs connected to a central shaft that supports the turbine foot. Each leg is

anchored with a pile driven into the seabed, providing a wide base that allows for shallower pile the installation in the ground than monopile underpinnings.

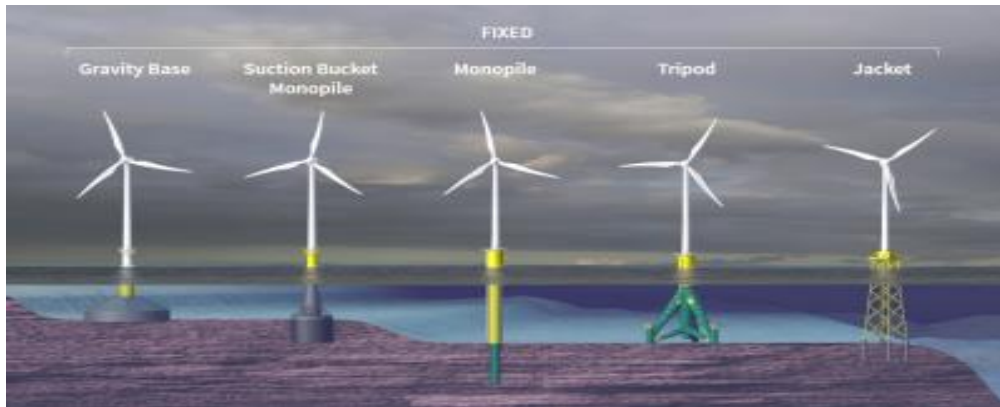


Figure 14. Types of Fixed Offshore Wind

14.1.3.2 Floating

Floating wind turbines (FWTs) can be categorized as stabilized by ballast, buoyancy, or mooring systems during their operational phase. In practice, many FWTs utilize a combination of these stabilization methods. The figure illustrates the relative positions of various commercial FWT concepts within the restoring mechanism triangle. It's worth noting that certain floating foundations, such as spar and tension leg platform (TLP), exhibit distinct restoring characteristics during transportation and installation compared to their operational phase. Additionally, there are significant variations among FWT designs, often requiring customized installation approaches for each specific concept.

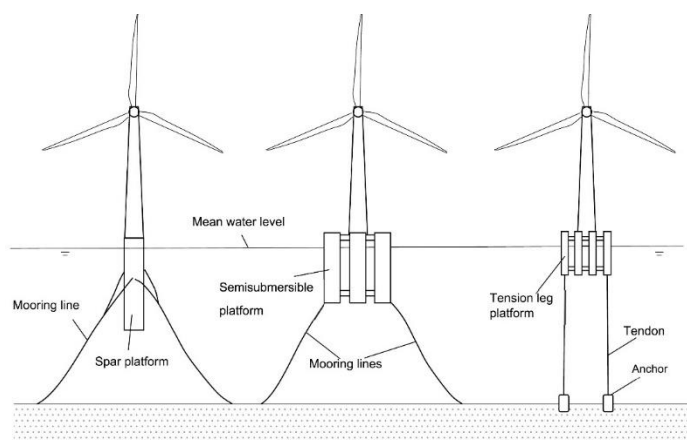


Figure 15. Structural layouts of floating wind turbines, including tension leg platform configurations, semisubmersible platforms, and spar platforms.

Every platform is tasked with the responsibility of bearing the weight of the wind turbine and maintaining stability during its operation. This is achieved, in part, through the use of hollow platforms, typically constructed from substantial steel or concrete structures, which offer buoyancy to uphold the turbine. Floating platforms have the capability to support wind turbines with the capacity to generate 10 megawatts or even more – a scale comparable to conventional offshore wind turbines and multiple times larger than the output of a standard onshore wind turbine commonly found in open fields.

14.1.3.3 Hybrid Offshore Wind Turbine

Emerging technologies propose an innovative hybrid strategy that unites wind and wave energy to optimize their collaboration, thereby decreasing common expenses such as mooring and electrical connections.

These hybrid systems harness both wind and wave energy within the same marine environment, presenting a promising renewable energy solution for the future. The viability assessment of the hybrid concept is conducted through the utilization of the aero-servo-hydro-elastic simulation tool FAST. This investigation delves into the interactions between the integrated system components to assess the impact of the Wave Energy Converters (WECs) on the Semi-Submersible Tension Leg Platform (STLP) platform across different operational scenarios of the wind turbine, including both regular and irregular wave conditions.

The key characteristics of the hybrid wind turbine with a floating platform are outlined as follows:

These WECs generate electrical power by revolving the arms around hinges positioned around the central cylinder. Each arm of the WEC is affixed to a hydraulic power take-off (PTO) system, which converts the mechanical rotational energy of the arms into hydraulic and electrical energy.

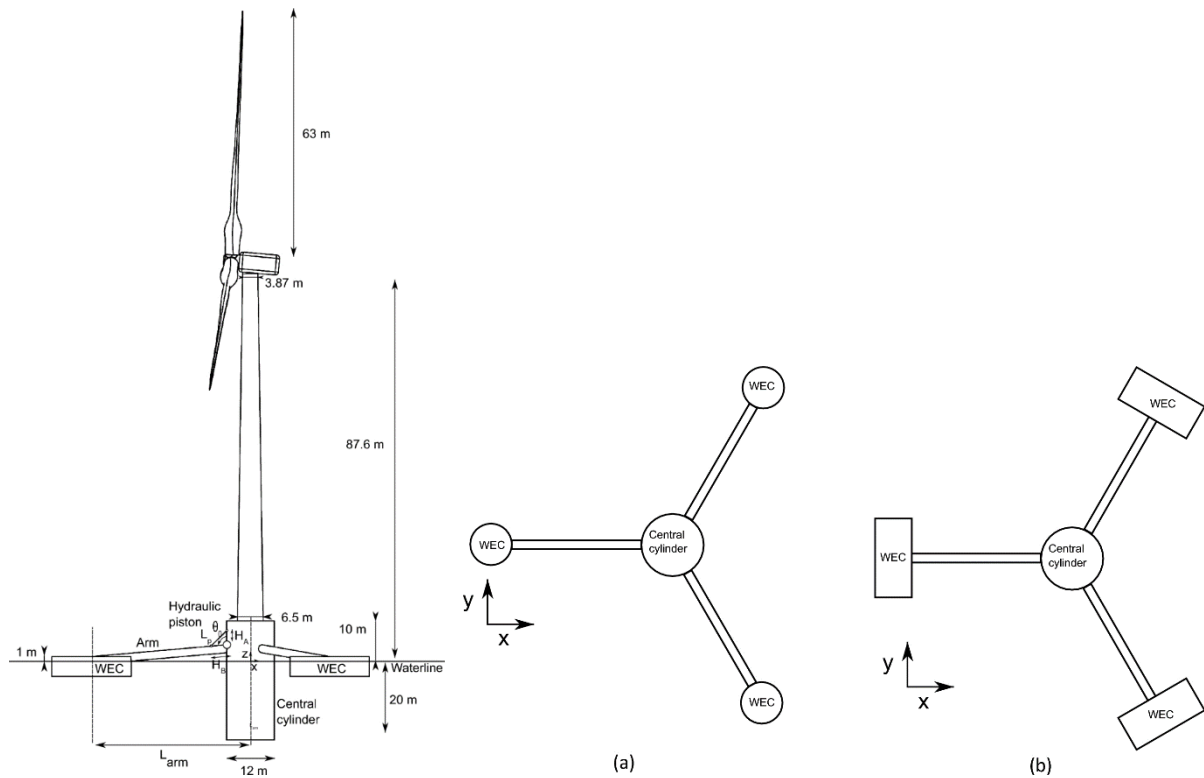


Figure.16 Layout of the WECs for the cylindrical and spherical shape (a) and the semi-cylindrical shape (b). Wave and wind directions are shown by the x-axis

A project that integrates wind and wave energy extraction offers various advantages, including a more dependable power output, as illustrated by the layout of the WECs for the cylindrical and spherical shapes. Wave energy can serve to mitigate the motion of offshore wind turbine platforms through both active and passive means. Wave energy converters (WECs) function by absorbing energy from ocean waves, consequently reducing the wave field and creating a shadow effect that naturally dampens platform motion induced by waves. Additionally, WECs can be actively controlled to actively mitigate the motion of offshore wind platforms, reducing the risk of system fatigue and optimizing wind turbine performance by minimizing hub motion. While the active suppression of offshore platforms with WECs is still in the early stages of research, numerical and test tank results show promise for its effectiveness.

In summary, the integration of wave energy into hybrid wind-wave systems shows great potential in shaping the future of offshore wind energy. The key benefit of combining wave energy with floating offshore wind is the mitigation of platform motion and the ability to meet local power needs. Wave energy converters (WECs)

offer effective platform motion suppression through passive and active control techniques. While research and development in the field of hybrid wind-wave systems are relatively recent, promising examples like the W2Power and Poseidon case studies have advanced to ocean demonstration stages.

14.1.4 Future Trends and Innovations

The offshore wind energy sector is currently experiencing significant transformation, marked by pioneering advancements and upcoming developments that are set to revolutionize the field. With the growing worldwide need for clean energy solutions, offshore wind turbines are positioned to have a more substantial impact in achieving sustainability objectives. This document provides insight into the most encouraging innovations and emerging patterns that will shape the future of offshore wind turbine technology.

14.1.4.1 WindFloat Atlantic

The offshore wind energy sector is currently in a state of rapid transformation, characterized by groundbreaking innovations and forthcoming trends that have the potential to reshape the entire industry. As the global demand for clean energy continues to rise, offshore wind turbines are positioned to play an increasingly vital role in achieving sustainability objectives. This document offers a glimpse into the most promising innovations and emerging trends that are driving the future of offshore wind turbine technology. Following several years of dedicated work, the project achieved full operational status in July 2020. By the end of 2022, WindFloat Atlantic had accumulated a total cumulative production of 180 GWh, meeting its planned targets.

The offshore wind power plant comprises three wind turbines, supported by three semi-submersible floating structures using the "WindFloat" technology developed by Principle Power. The specifications of the wind turbine towers are as follows:

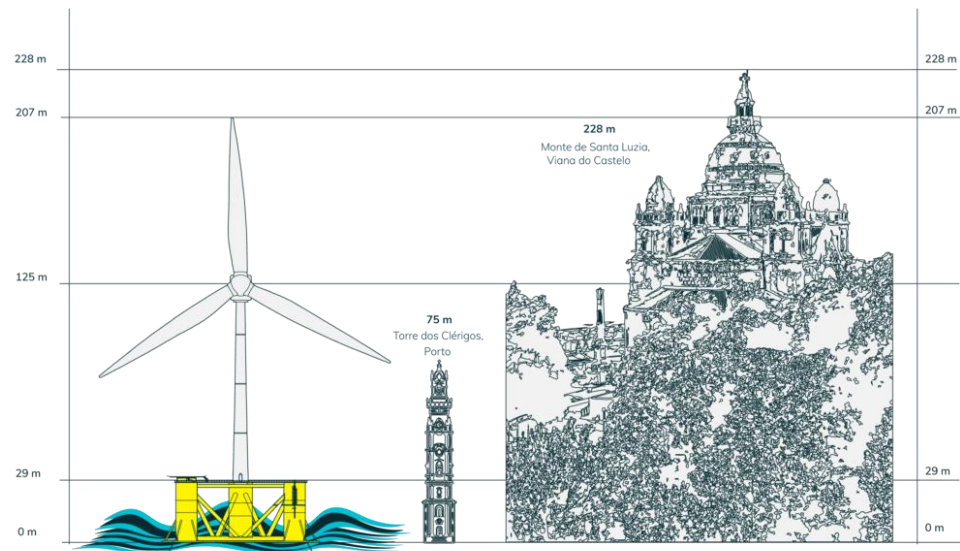


Figure 17. One of the huge turbine in Porto

The triangular floating platform is designed to be semi-submersible and firmly anchored to the seabed. It comprises three vertical columns that are interconnected and mutually supportive, with one of these columns being affixed to the wind turbine tower's base. The lateral separation between the columns, measured from their centers, spans approximately 50 meters. To enhance its stability, the platform utilizes a system of chambers filled with water located at the base of the three columns. This is complemented by a static and dynamic ballast system that actively adjusts the water distribution between the columns to counteract the wind thrust exerted on the wind turbine.

14.1.4.2 The Redwood Coast Offshore Wind Project

RCEA and a group of developers have come up with the first commercial-scale task, called the Redwood Coast Offshore Wind Field.

A Demand for Specifications was launched by RCEA in 2018 to find potential development collaborators. The Board of Directors of RCEA then decided to work with a group of businesses to pursue the growth of local wind power from the ocean. In anticipation of acquiring an agreement for lease, the project business is diligently collaborating with local stakeholders to develop a project plan that minimizes

environmental consequences and optimizes benefits to the neighborhood. The effort will be the result of substantial grassroots participation and engagement and is projected to take a long time to plan and execute.

Redwood Coast Offshore Wind Project

- 100-150 MW
- 25 miles or so west of Eureka
- Seafloor depth ranges from 2,000 to 3,600 feet.

There are four sections to explain the project's guiding concepts.

Project Guidelines

- Offer electric ratepayers green energy at fair prices.
- Prioritize stakeholder participation and acceptability; find and handle local concerns.
- Reduce the negative effects of development on the environment.
- To make Humboldt Bay an industrial powerhouse, spend as much as possible in the regional infrastructure.

While waiting for the Bureau of Ocean Energy Management to decide on the final lease units during the 2022 lease auction procedure, the choice of the project location was affected by a number of crucial variables, especially its accessibility of roughly 205 square miles of territory. To guarantee limited interruption, current commercial fishing and shipping activities in the area were also taken into account. Furthermore, wind resource converts have been reviewed so as to determine optimal conditions for the wind for the generation of energy, and wildlife and environment inspections were carried out to mitigate environmental impact while addressing technical constraints to minimize grid interconnection distances for greater reliability and delivery of energy.

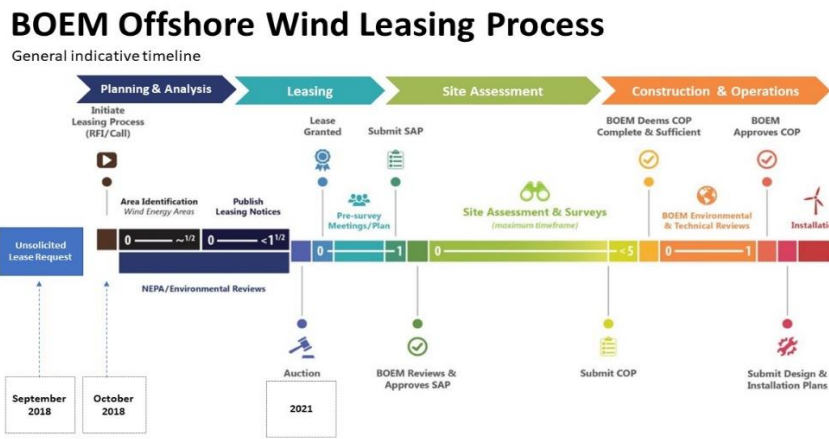


Figure 18. BOEM Offshore Wind Leasing Process

14.1.4.3 Batwind project

The 1.3MWh Batwind battery, jointly owned by Masdar and Equinor, plays a crucial role as an energy storage solution for the world's inaugural commercial floating wind farm, the 30MW Hywind Scotland. Launched on June 27, 2018, Batwind employs advanced data-analysis algorithms to efficiently oversee the storage and discharge of electricity, thereby optimizing its economic value. These algorithms rely on diverse data sources, encompassing weather predictions, market pricing, maintenance schedules, consumption patterns, and grid services, to ensure that the battery's intelligent energy system maximizes its usefulness and revenue generation. Situated at an onshore substation in Peterhead, Scotland, Batwind captures the electricity generated by the Hywind floating offshore wind farm.



Figure 19. High capacity batteries

A significant benefit of integrating these batteries into this project is the necessity for electricity grids to operate in real-time and constantly balance supply and demand for seamless functionality. Consequently, managing the fluctuations in energy supply from solar and wind sources can be a considerable challenge. Storage solutions effectively tackle this challenge by enabling operators to access electricity from solar and wind sources as needed, ensuring a stable and reliable energy supply.

14.1.4.4 Icebreaker Wind

Icebreaker Wind represents a distinctive wind energy initiative, marking the inaugural offshore wind facility in the Great Lakes, the foremost freshwater wind farm in North America, and just the second offshore wind project in the entire United States. In essence, it provides Ohio with the chance to assume a prominent role in the burgeoning offshore wind sector on a national scale.

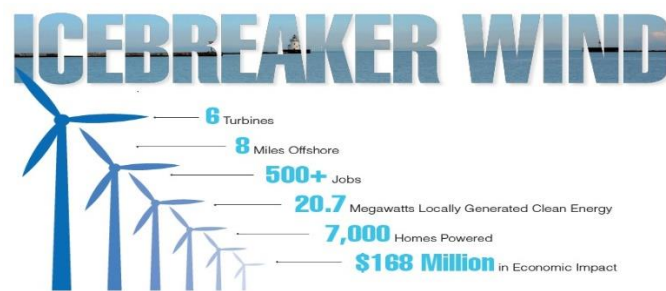


Figure 20. Energy project of Icebreaker Wind

On August 10, 2022, the Ohio Supreme Court, in a 6-1 ruling, upheld the state permit granted to Icebreaker Wind, clearing the way for the project to proceed. This legal challenge, initiated by two Bratenahl residents, represented the final legal obstacle to the development of North America's inaugural freshwater offshore wind turbine installation. Throughout the process, Green Energy Ohio (GEO) provided unwavering support to Icebreaker Wind.

On May 21, 2022, the Ohio Power Siting Board, with unanimous consent, eliminated the nighttime "feathering" requirement from their order regarding Icebreaker Windpower. GEO had criticized the initial decision, considering it a hindrance to the project's financial viability. The amendment proposed by Director

Mary Mertz of the Department of Natural Resources paves the way for Icebreaker to advance toward final approval.

The deployment of wind turbines in maritime settings is experiencing continuous growth in today's world. This expansion encompasses various strategies and challenges while also drawing on prior initiatives to improve techniques and power generation. There are several notable ongoing and advanced projects, focused on future applications and data acquisition, contributing to this evolution.

14.1.5 Advantages and Disadvantages of OWTs

These turbines are designed to harness the power of wind and transform it into electrical energy. According to the American Geosciences Institute, wind speeds over the ocean are generally higher compared to those on land, and even slight increases in wind velocity can lead to substantial increases in electricity production. The elevated offshore wind speeds offer a significantly greater capacity for energy generation. Moreover, offshore wind speeds tend to be more consistent than those experienced on land, ensuring a reliable and stable energy source.

14.1.5.1 Advantages of OWTs

Offshore wind farms are located far from shore within the lakes and ocean. Though they are less frequently built, they have their set of pros and cons.

14.1.5.1.1 Generates More Energy

On average, offshore wind farms have the capacity to generate over 1 MW of power, surpassing the potential of onshore wind farms. Unlike onshore wind turbines, which are constrained by height limitations, offshore turbines can be built to larger specifications. With their substantially larger turbine blades, they can produce greater amounts of energy. Additionally, the consistently higher wind speeds at sea, as compared to land, enable offshore wind farms to generate more substantial power outputs.

14.1.5.1.2 More wind consistency

Offshore wind speeds exhibit less variability, and wind direction changes are less frequent, resulting in greater consistency and reliability in power generation from offshore turbines.

14.1.5.1.3 Less Intrusive

Situated in sea or lake regions, offshore wind farms are less obtrusive compared to their onshore counterparts. They do not encroach upon private land used for farming or grazing and do not disrupt neighboring countries, buildings, or obstruct their surroundings. Moreover, offshore wind farms occupy larger areas per square mile, resulting in a reduced physical footprint and environmental impact.

14.1.5.1.4 Bigger turbines

Offshore turbines can achieve greater heights than their onshore counterparts, as they are less accessible to the general public. This extended height allows them to capture more wind energy and generate increased electricity output.

14.1.5.2 Disadvantages of OWTs

Despite their numerous advantages, offshore wind farms do have some significant drawbacks. One of the most commonly cited concerns is the impact on the aesthetic beauty of the surrounding areas, with people expressing concerns about the visual disruption they cause to the natural landscape.

14.1.5.2.1 Less Local Involvement

Now, turning to the list of pros and cons of offshore wind farms, let's start with the cons. Unlike onshore wind farms that are often owned by local businesses, offshore wind farms typically require substantial investments, making it challenging for local enterprises and organizations to participate. These projects are typically owned by large corporations, and while they do create job opportunities, they may not always directly benefit specific local communities. Consequently, offshore wind farms may not provide the same level of economic opportunities as their onshore counterparts.

14.1.5.2.2 Maintenance & repairs

During periods of extreme sea waves, tides, or strong winds, offshore wind farms are more susceptible to turbine damage, necessitating increased maintenance compared to their onshore counterparts.

14.1.5.2.3 Noise & visibility

The sounds emitted by underwater turbines can have adverse effects on marine fauna and other underwater life. Additionally, it's important to note that not all offshore wind farms are situated out of sight from the public. Some are constructed within 26 miles of the coastline, which can still be visually disruptive for local residents.

14.1.5.2.4 Less local jobs

The capacity for offshore wind farms to contribute to local economies is constrained in comparison to onshore wind farms. This limitation arises because manufacturers' offices are typically situated inland, often at a significant distance from the offshore sites, resulting in a lack of job opportunities and other economic developments within the nearby communities.

Considering both the advantages and disadvantages of offshore wind farms, I hold the view that, at its current state, this technology may not be suitable for large-scale implementation. However, as technology advances and materials become more cost-effective, the potential for deploying offshore wind farms on a massive scale may improve.

Overall, I strongly believe that green energy plays a crucial role in combating climate change. Nevertheless, the average consumer often prioritizes one key factor: cost. Until wind energy becomes more cost-competitive and reliable compared to other energy sources, it will face significant challenges in surpassing fossil fuel production.

Conclusion

This article is written to explain the field of application ,properties,effect of parameters on the power of wind turbines in the offshore environment. The first part of the discussion is about a number of parameters that affect the power of the wind turbine in the offshore environment. In the first part, the parameters that can increase the efficiency of the turbine are highlighted in detail, which include: wind speed and

length of wind season, diameter of the rotating blades, the efficiency of wind turbine components, pitch control, arrangement of the turbines in the farm. The other part is devoted to the factors that can reduce the power of the turbine, which include: aerodynamic drag, blade friction, and air density. Here we could touch on more parameters that can both increase and decrease the efficiency of the turbine, but the author tried to touch on the main factors here. In another part of the article, it was mentioned about the corrosion of the turbine.

Various types of corrosion are shown here, as well as the ways in which it can be prevented in its offshore environment. As we know, because there are waves in the marine environment, it is important to emphasize here the effect of the wave on the turbine. For this reason, wave loading on the wind turbine tower is mentioned in another section. Temperature and pressure are one of the main parameters affecting air density. As mentioned in the research, the efficiency of the turbine can increase or decrease depending on the density of the flowing air. Considering these two effects, they were added to the other part of the study. The application of wind turbines in the means of transportation in cities, as well as in airplanes, has made it possible for us to apply these turbines in a more advanced form to ships. In this case, mainly because the wind's durability plays a role, how to change it in form is explained in the vehicle-mounted wind turbine section. As we know, the types of wind turbines in the offshore market, the different classes of these types and the classification according to which factor must be mentioned in the research, so the information about this is included in the paragraph.

Since the development of turbines in the marine industry is a somewhat slow process, the record of innovative ideas applied to wind turbines will provide readers with other innovative ideas. In the investigation, it is possible to see the record of the projects implemented in the recent past and the development continues. In conclusion, we discuss the pros and cons of these turbines, which are best suited for offshore settings. Presenting both the advantages and disadvantages to readers helps them evaluate real-life projects based on their own principles, highlighting potential challenges.

When the author conducted this research, he came to the conclusion of the lack of application of wind turbines on ships. Based on the results of the investigation, it can be said that we can fill this gap by applying VAWTs to ships. Considering the constant wind in a dynamic environment, the principle of carrying out long-term trips with a ship means that we need a large amount of electrical energy. Here we can use the energy we get with the wind turbine to supply the ship's electricity. In general, the energy received by the ships from the generator and the energy received from the wind turbine can be used in a hybrid form, and we can gradually reduce energy consumption and CO₂ emissions.

14.2 Theoretical and mathematical analysis of a bladeless wind turbine

Abstract

A groundbreaking approach to harness wind energy for sustainable power generation involves the utilization of bladeless wind turbines. Unlike traditional wind turbines equipped with rotating blades, bladeless wind turbines employ advanced technology to eliminate the need for mechanical spinning components. Nonetheless, these turbines come with certain drawbacks, such as their impact on wildlife, maintenance requirements, and aesthetic considerations. This article aims to illuminate the potential of bladeless wind turbines in transforming the renewable energy landscape by providing an overview of their principles, design, and advantages. The fundamental concept behind bladeless wind turbines revolves around harnessing kinetic energy through wind-induced oscillations and vibrations. This article underscores several essential mathematical equations while considering each topic. A slender mast or rod will oscillate and vibrate due to the wind's movement around it. Bladeless wind turbines represent a pioneering advancement in the realm of renewable energy. As the world seeks cleaner and more sustainable electricity sources, they do present challenges, yet their potential benefits in terms of environmental impact, maintenance, and aesthetics position them as a promising inclusion in the array of renewable energy solutions.

Key words

Bladeless wind turbine(BWT), working principle, renewable energy harvesting, mathematical analysis, power conversion, future applications

14.2.1 Introduction

In response to mounting environmental concerns and the urgent need to stop climate change, there has been a rise in the global drive to adopt sustainable energy sources in recent years. Because it provides a plentiful and environmentally benign source of electrical energy, wind power stands out as a feasible alternative within the area of renewable energy. Although conventional horizontal-axis wind turbines have

been instrumental in capturing wind energy, they have a number of disadvantages, including noise pollution, damage to birds, and aesthetic concerns. These drawbacks have motivated the investigation of creative substitutes.

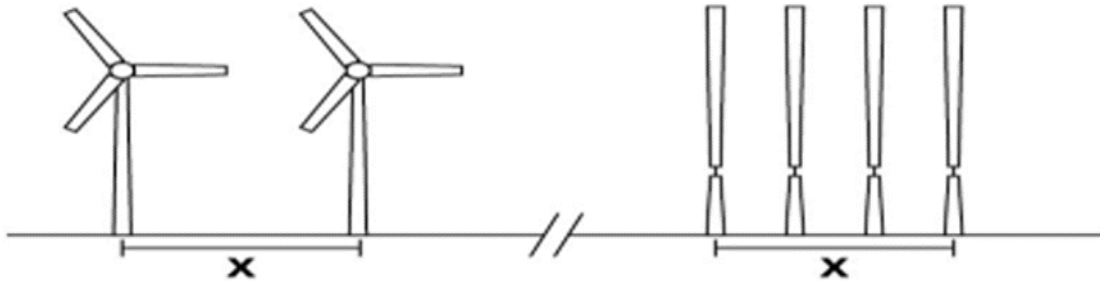
In order to overcome these challenges, the development of bladeless wind turbines has emerged as a promising new direction in the field of wind energy production. With their ground-breaking method, these cutting-edge turbines represent a substantial divergence from the conventional spinning blade concept. Bladeless turbines, which use aeroelastic flutter, vibration, or oscillation mechanisms rather than moving blades to capture wind energy, offer a number of advantages that have the potential to completely reshape the wind energy market.

This study explores the intriguing world of bladeless wind turbines and considers how they can alter the wind energy sector. We examine the basic ideas, various design approaches, practical benefits, and potential drawbacks of bladeless wind turbines with an emphasis on sustainability and environmental concerns. Our goal is to offer meaningful insights into the practicality and sustainability of bladeless turbines as a substantial component of renewable energy sources by assessing recent advancements and research in this field.

Understanding the potential and constraints of bladeless wind turbines is increasingly important for governments, investors, and researchers as the world moves toward cleaner energy sources. We might be getting closer to creating a cleaner and more sustainable energy future by utilizing the creative possibilities of bladeless wind turbines. Such a discovery could help lessen our reliance on fossil fuels and lessen the negative effects of conventional wind turbine technology on the environment. This study acts as a lighthouse, illuminating how bladeless turbines may help to increase the production of sustainable wind energy.

14.2.2 Traditional wind turbines vs bladeless wind turbines

Bladeless turbines are inherently straightforward, consisting of just a single structural component. This simplicity offers several advantages in terms of manufacturing, transportation, storage, and installation. Notably, they lack bearings, gears, or other moving parts, which makes their maintenance a straightforward process.



Comparison between bladeless and conventional wind turbines.

In comparison to bladed wind turbines, bladeless turbines have the potential to generate electricity at a 40% lower cost. Traditional wind turbines, on the other hand, are towering structures with rotating fan-like blades, a well-established technology used worldwide. In the case of traditional wind turbines, the blades capture the kinetic energy of the wind and convert it into mechanical energy, which, in turn, drives a generator to produce electricity.

The choice between bladeless and conventional wind turbines depends on factors like efficiency, environmental impact, and location-specific considerations. Conventional turbines are widely used for utility-scale power generation, while bladeless turbines may find applications in specific situations where reduced noise and visual impact are important.

14.2.3 STRUCTURE & OPERATION

The concept of vortex devices is simple, which makes them easy to produce, install, and use. They are made out of a fixed base and a free-moving cylindrical mast that oscillate perpendicular to the wind, joined by a carbon rod. The internal parts never come into contact; instead, they cooperate to create electricity.

14.2.4 ENERGY HARNESS

Pressure vortexes are created when wind swirls around an object. The wind speed affects how often these vortexes occur. The structure begins oscillating and absorbs the energy from the vortexes if it has a suitable natural resonance frequency. Vortex Shedding is an aeroelastic resonance phenomenon that happens frequently in nature.

14.2.5 ENERGY CONVERSION

Similar to a traditional alternator, our gadget generates power using induction of electricity by interacting coils and magnetic fields. It's significant that neither the usage of a gearbox nor rotation on a shaft are necessary for this method to work. The magnets also act as a "Tuning System," changing the mast's perceived elasticity constant. The range of wind speeds in which oscillations can occur is increased by this adjustment.

14.2.6 Differences between bladeless and traditional wind turbines

Although conventional wind turbines don't need as much wind as some people might think in order to function, they are less effective when there isn't any wind. By being independent, bladeless wind turbines allay this worry. Alternatives without blades perform better at producing, storing, and dispersing energy.

While bladeless designs increase energy harnessing capabilities and overall efficiency by more than 60%, traditional wind turbines can lose up to two-thirds of the wind energy they catch. Additionally, they have benefits for the environment and supply chains.

Compared to their conventional equivalents, their streamlined construction and smaller size put less strain on the extraction of raw materials. Furthermore, the lack of blades guarantees the protection of bats and birds. Instead of using traditional blades, they work by harnessing a phenomena known as the "Magnus Effect."

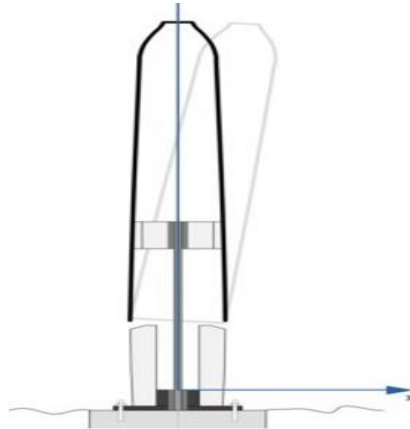


14.2.7 The working principles of bladeless wind turbines?

This cutting-edge device uses a vertically oriented cylinder with an elastic rod to generate power by harnessing wind-induced vortex shedding. Through the use of an alternator system, the cylinder oscillates within a wind range and generates electricity.

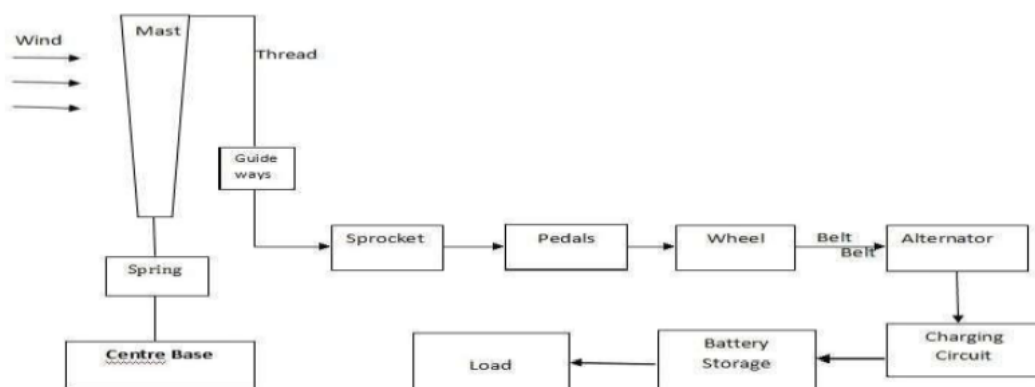
Although mostly rigid, the outer cylinder can vibrate because it is attached to the bottom rod. The maximum oscillation amplitude is present at the top of the cylinder.

Polymers reinforced with carbon and glass fibers, which are frequently used in conventional wind turbine blades, are used to build the framework. The top of the rod supports the mast, and the bottom is firmly fastened to the ground. Low energy loss during oscillation and good fatigue resistance are guaranteed by the use of carbon fiber-reinforced polymers.



Work principle.

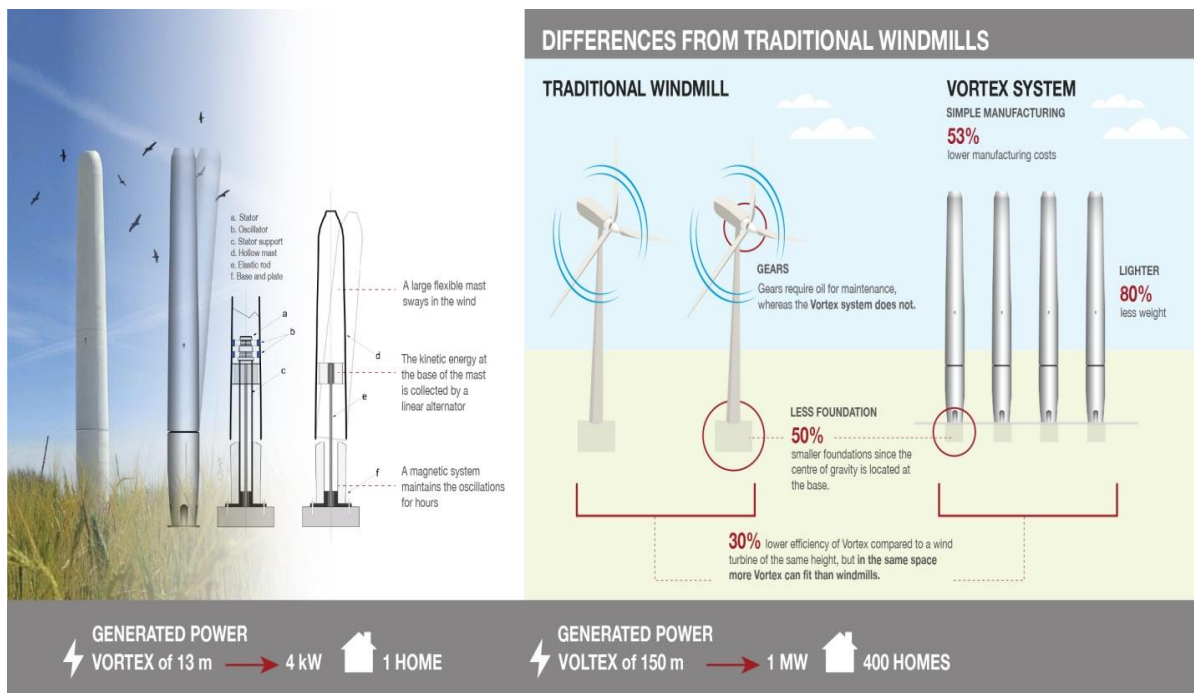
The idea behind how vortex wind turbines work is that similar forces may be used to produce power. The bladeless wind turbine is able to harvest energy from this motion, much like a traditional generator, when wind vortices align with the natural frequency of the device's structure. Although Vortex bladeless turbines may not be as power-efficient as conventional wind turbines, this efficiency loss can be made up for by the fact that more of them can be installed in the same space.



Work principle scheme.

14.2.8 POTENTIAL APPLICATIONS

Identical to solar panels, these devices have low maintenance needs and are wildlife-friendly, opening up new opportunities for wind energy in populated and protected areas. However, they are also compatible with the areas where traditional wind power installations are made. In order to provide its special qualities to large-scale production, this technology may be scaled up, whether in conventional wind farms or vast offshore regions.



These bladeless turbines are able to provide a significant amount of force while rotating up to twenty times per minute and reaching speeds of 289 km/h. Turbine blades typically experience significant deterioration over time, which is understandable given their exposure to harsh offshore weather and the erosion they experience. Three-bladed turbines are considered the most effective alternative right now, but this might not always be the case. We owe the majority of our wind energy production to the efficiency of three-bladed turbines until they become the norm.

Table 1

Dimensions for the design of bladeless Turbine

Parameter	Dimension
Length of each Rod	517 mm
Upper diameter of the Disc	203 mm
Lower diameter of the Disc	100 mm
Angle between each rod with horizontal	96 deg
Outer casing thickness	17mm
Outer casing outer diameter	40mm
Total number of rods	18mm

14.2.9 Bladeless mathematical model and power calculation

It was difficult to create a mathematical model because the vortex bladeless problem had not been thoroughly examined in many earlier studies. The lateral force produced by vortex shedding oscillates back and forth along the mast. It is logical to characterize this force as a harmonic in time at the shedding frequency because it is a more asinusoidal process, equation (1)

$$F(t)=F_0 \sin (\omega_s t)$$

Where ω_s is the frequency of vortex shedding and F_0 is the magnitude of the stimulating force. These factors are affected by the shape of the cylinder and the characteristics of the fluid, based on experiments carried out by Bearman in 1984 and revelations from Kelly in 2012. Then, using equations (2) and (3), those variables are combined in a non-dimensional form:

$$C_l = f \left(Re, \frac{D}{L} \right)$$

$$S = f \left(Re, \frac{D}{L} \right)$$

The initial parameter is the lift coefficient, defined by equation (4):

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2}\rho u^2 DL}$$

Therefore, the exciting force can be determined using equation (5),

$$F_1(t) = \frac{1}{2}\rho u^2 DLC_l \sin(\omega_s t)$$

The second parameter is the Strouhal number and is defined by equation (6)

$$S = \frac{\omega_s D}{2\pi u}$$

The independent parameters of equations (2) and (3) are the Reynolds number, equation (7), and D/L ratio of mast:

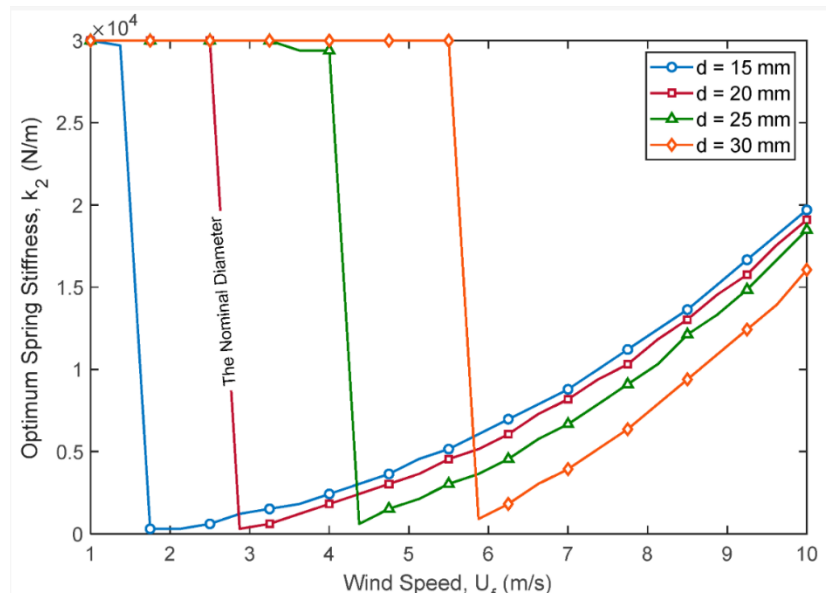
$$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$$

The threshold wind speed normally increases with a larger beam diameter, as a first observation. The turbine becomes more stable at low wind speeds with a bigger beam diameter. Therefore, a larger wind speed is needed for the turbine to operate efficiently, which subsequently reduces the turbine's useable range.

It's also important to note that for all diameters above the threshold speed, the relationship between the optimal stiffness of the spring and wind speed follows a quadratic proportion. It is possible to determine the cantilever beam's relative stiffness, represented by the letter "k1." k_1 can be determined by

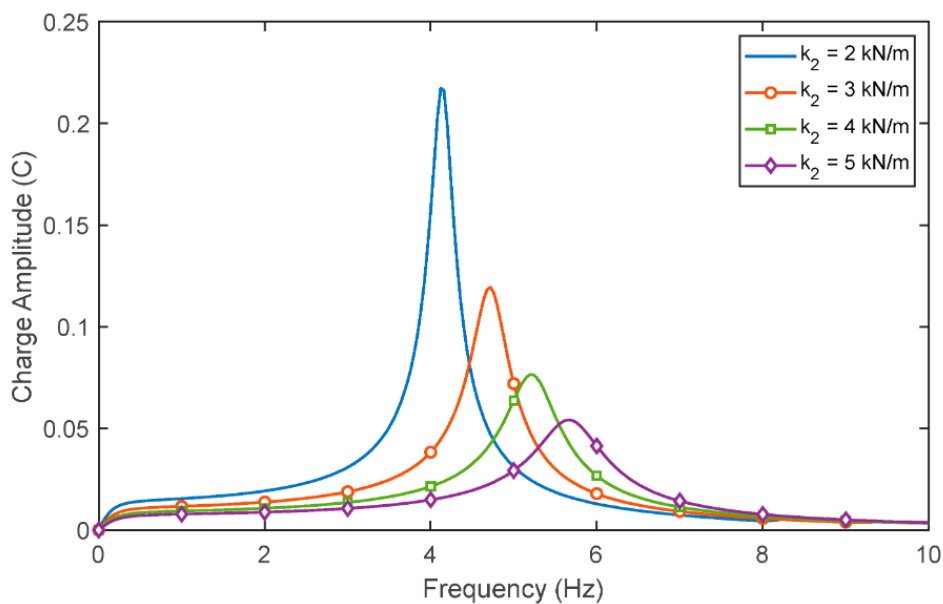
$$k_1 = \frac{3\pi}{64} \times \frac{E_b d^4}{L_b^3}$$

where E_b is the Young's modulus of the beam material, and d is the beam diameter.



Optimum spring stiffness at various diameters of cantilever beam of the tunable turbine

Following figure shows the frequency spectrum of the output charge of the turbine for different spring stiffness values. It is clear that adjusting spring stiffness allows the fundamental frequency of the turbine to be precisely regulated. The amount of electricity that can be gathered declines as the spring stiffens. This is explained by the reason that the magnet's displacement decreases significantly with high spring stiffness. The spring performs as a rigid link at extremely high stiffness levels, effectively converting the device into a typical bladeless wind turbine.



Frequency spectrum of the output charge at different values of the spring stiffness

The natural frequency of the body is calculated by using torque method.

$$fn = 0.5 \cdot \left(\left((KL^2 - 2Mc \cdot gL) : 4 \right) : I \right)$$

fn - Natural frequency,

I - Moment of inertia of conical frustum,

K - Spring stiffness,

L - Length of conical frustum,

Mc - Center of mass of conical frustum ,

G- Acceleration due to gravity.

MOMENT OF INERTIA

$$I = \left(\frac{1}{3} \right) Mc \cdot L^2$$

I - Moment of inertia of conical frustum

K - Spring stiffness. (1.219 m)

Mc - Mass of conical frustum (0.7986 kg)

G - Acceleration due to gravity. (9.81)

$$I = (1/3) Mc * L^2 = (1/3) * 0.7986 * 1.219^2 = 0.395 \text{ kg m}^2$$

SHEDDING FREQUENCY CALCULATIONS

$$St = \frac{F_s \cdot D}{U}$$

St - Strouhal No (0.2)

Fs - Shedding frequency

D - Diameter (0.2m)

U - Velocity of fluid (2.8 m/s)

$$St = F_s * D / U$$

$$0.2 = F_s * 0.2 / 2.8$$

Fs = 2.8 , Therefore shedding frequency is 2.8 Hz

POWER CALCULATION

The oscillation produce by the vortex shedding is converted in to rotary motion and then into power.

$$P = KC_p \left(\frac{1}{2}\right) \rho AV^3$$

P - Power output, Kilowatts

C_p - Max Power coefficient (0.35)

ρ - Air density, lb/ft³ (0.0765)

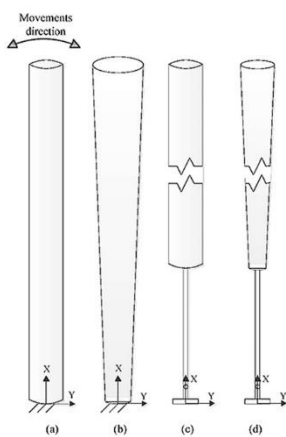
A - Rotor swept area

V - Wind speed, kmph (21.6)

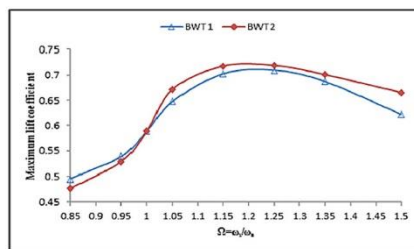
K = 0.000133 A = πDL = 3.14 * 0.656168 * 3.999 A = 8.239ft³

P = 0.000133*0.35*(1/2)*0.0765*8.239*(21.6)³ P = 0.1478KW P = 147.83W

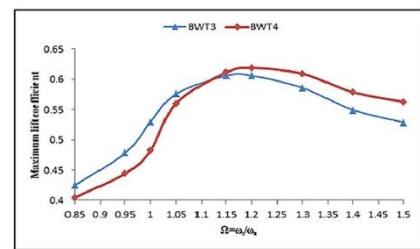
The proposed Bladeless Wind Turbines (BWTs) differ in how they are installed and how their bluff body is designed. The assessment of the power levels that can be transferred to BWTs and the comprehension of how these power levels fluctuate with variations in the free-stream air velocity are more particularly connected to these discrepancies. In order to do this, it has been decided to analyze the lateral displacement degree of freedom (DOF) of BWTs using simple mathematical dynamic models.



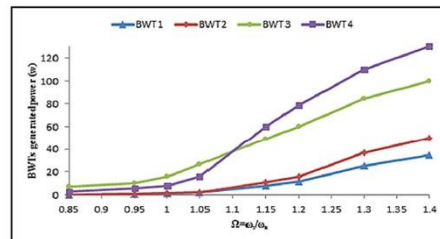
Geometrical model of the bladeless wind turbine
(a) BWT1, (b) BWT2, (c) BWT3, (d) BWT4



Lift coefficient curves of BWT1 and BWT2 versus non-dimensional frequencies Ω



Lift coefficient curves of BWT3 and BWT4 versus non-dimensional frequencies Ω



Power level transmitted to BWTs in the lock-in bound

The Vortex-Induced Vibration (VIV) bladeless wind turbines are made of a relatively long cylinder that is exposed to the airflow and can be either flexible or placed on a flexible structure. As shown in figure, there are four different BWTs that are taken into consideration, each with a unique cylinder design and mounting arrangement:

- BWT1: Features a flexible right circular cylinder.
- BWT2: Incorporates a flexible conic cylinder.
- BWT3: Utilizes a rigid right circular cylinder that's mounted on a flexible beam.
- BWT4: Employs a rigid conic cylinder mounted on a flexible beam.

14.2.10 Advantages

- Traditional wind turbines require expensive pieces such nacelles, support systems, and blades, which are essential components of bladeless wind turbines. But bladeless wind turbine does not contain from these parts.

- Bladeless turbines are incredibly light, with low centers of gravity that are located close to the ground. As a result, compared to traditional turbines, there is a significant reduction in the need for anchoring or intricate foundations, simplifying the installation procedure.

- These turbines can fit more units on the same surface area because to their lower swept areas, effectively making up for the loss in power efficiency through increased space efficiency.

- Turbines without blades are adaptable and can run on or off the grid. Additionally, they work well with hybrid wind-solar installations.

- Bladeless wind turbines are 50% less expensive than their conventional counterparts.

- In comparison to conventional wind turbines with blades, bladeless wind turbines have fewer moving parts, which lowers noise levels.

14.2.11 Disadvantages

- Bladeless wind turbines have many benefits, but they also have some significant drawbacks. Their insufficient ability to produce energy is a severe disadvantage. While

bladeless wind turbines can only create a limited amount of power, conventional wind turbines can produce significant amounts of energy.

- Bladeless turbines lack the ability to alter the direction of the wind, rendering them unsuitable for regions where wind direction frequently changes.

- Because they are so dependent on wind speed, bladeless wind turbines cannot produce energy when there is little wind. Because of this, they are an unreliable source of energy, especially where the wind blows at different speeds.

- Bladeless turbine oscillations can cause a natural vibration that could be harmful to the environment and wildlife.

14.2.12 Future of bladeless wind turbines

Although three-bladed turbines have been the industry norm for producing renewable energy in recent years, there is no assurance that this will be the case in the future. Engineers are developing more practical and efficient systems for generating energy in the future, such as vertical bladed turbines for residential usage.

One of the most often proposed concepts is a turbine without blades. There are several benefits to building a turbine without blades, despite the fact that it may appear intuitive considering the resistance needed to convert wind energy into electricity. Cost and upkeep are one advantage. The running of current turbines places them under a considerable deal of stress. Turbine blades have been shown to deteriorate in quality over time, particularly when they are subjected to erosion in harsh conditions.

14.2.13 Conclusion

In conclusion, this research article has provided a comprehensive exploration of bladeless wind turbines, shedding light on their potential to reshape the wind energy industry. With a primary focus on sustainability and environmental considerations, the fundamental principles, diverse design variations, operational advantages, and potential challenges associated with bladeless wind turbines have been thoroughly examined.

The findings presented here suggest that bladeless wind turbines hold promise as a novel and potentially transformative technology in the renewable energy landscape. Their innovative design offers several advantages, including reduced maintenance

requirements, lower noise emissions, and the potential for decreased environmental impact when compared to traditional bladed turbines.

Nevertheless, it is important to acknowledge that there are still critical issues that must be addressed. Scalability, efficiency optimization, and cost-effectiveness remain challenges that require continued research and development efforts.

As we navigate the global shift toward cleaner and more sustainable energy sources, bladeless wind turbines emerge as a promising candidate to play a significant role in this transition. They have the potential to contribute to a reduced reliance on fossil fuels and offer a more environmentally friendly alternative for wind energy generation.

This research serves as a valuable resource, offering insights into the feasibility and sustainability of bladeless wind turbines as a vital component of our renewable energy mix. Further innovation and collaboration within the field are necessary to fully unlock the potential of this technology and drive sustainable wind energy generation into the future.

REFERENCES

1. Savchuk A. Architectural and planning solutions for wooden recreational facilities in the Carpathian region ; Candidate of Arch. sciences – National University of Lviv Polytechnic, 2020. – 285 p.
2. Parkhuts L.V. Traditional residential architecture of Boyko construction school on the basis of an archaic plan: principles of formation. [Electronic resource] / Lubomyr Parkhuts. - 2021. - Access mode to the resource: <http://archinform.knuba.edu.ua/article/view/229375/229135>.
3. Babiy I. "Strikha" - a project about folk architecture [Electronic resource] / Iryna Babiy // 2023 - Access to the resource: <https://gk-press.if.ua/yak-buduvaly-tserkvy-i-zhytlo-na-prykarpatti-striha-proyekt-pro-narodnu-arhitekturu/>.
4. Folk architecture of the Ukrainian Carpathians of the XV-XX centuries / Ed. by Y.H. Hoshko - K.: Naukova Dumka, 1987. - 272 p..
5. Matiychuk M. Traditional techniques of the coverage of roofs on the boykivskij area/ Visnyk of Lviv University. Historical Series. - Issue 47. - Lviv, 2012. - P. 373-392.
6. Hutsulska Gazhda [Electronic resource]. - 2014. : <https://spadok.org.ua/gutsulschyna/gutsulske-zhytlo>.
7. Accommodation in the Carpathians [Electronic resource] - Access mode to the resource: https://www.karpaty.info/ua/recreation/residence/?region=2®ion1=9&res_type=house&search_page=3#searchresults.
8. Top 10 cottage towns in the Carpathians [Electronic resource] - Access mode to the resource: <https://blog.mehbud.com.ua/uk/other/top-10-kotedzhnykh-mistechok-u-karpatakh/>.
9. Aguacates House / Francisco Pardo Arquitecto [Electronic resource] - Mode of access to the resource: <https://www.archdaily.com/971120/aguacates-house-francisco-pardo-arquitecto>.
10. Archdaily [Electronic resource] - Access mode to the resource: <https://www.archdaily.com/204841/yound-disabled-moduls-and-workshop-pavillions-g-bang-architecture>.
11. Archdaily [Electronic resource] - Access mode to the resource: <https://www.archdaily.com/247958/medical-cared-center-for-disabled-persons-atelier-zundel-cristea>.
12. Architizer [Electronic resource] - Access mode to the resource: <https://architizer.com/blog/inspiration/collections/design-for-disabilities/>.
13. Ministry of Social Policy of Ukraine [Electronic resource] - Access to the resource: <https://www.msp.gov.ua/timeline/invalidnist.html>.

14. Interfax [Electronic resource] - Mode of access to the resource: <https://interfax.com.ua/news/general/920086.html>.
15. Inclusive education [Electronic resource] - Access mode to the resource: <chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://mon.gov.ua/storage/app/media/inkluzyvne-navchannya/posibniki/inklyuziyavnz.pdf>.
16. Tvoje Misto [Electronic resource] - Access mode to the resource: https://tvoemisto.tv/news/u_lvovi_hochut_stvoryty_budynok_pidtrymanogo_prozhyvannya_dlya_doroslyh_z_invalidnistyu_114515.html.
17. Suspilne Novyny [Public news] - Access mode to the resource: <https://suspilne.media/484903-reabilitacia-ludej-z-invalidnistu-specializovanij-centr-u-stolici-gotuetsa-do-prijomu-pacientiv/>.
18. Invest in Lviv [Electronic resource] - Access to the resource: <https://investinlviv.com/maps/nacionalnij-reabilitacijnij-centr-nezlamni/>.
19. Ukrinform [Electronic resource] - Access to the resource: <https://www.ukrinform.ua/tag-invalidnist>.
20. 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.
21. Хуссейн Рамез Мехді, Василенко О.Б. Проектування освітлення у архітектурі та основні принципи ергономіки // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ. – 2004, вип. 29. – С. 17-22.
22. Фоменко О.О. Морфологічна інформативність архітектурного образу. Монографія. – Х.: Торсунг, 2002. – 312 с.
23. Самойлович В.П. Народна архітектурна творчість України / В.П. Самойлович. – К.: Будівельник, 1989 – 344 с.
24. Кикин А.И. Конструкции из стальных труб заполненных бетоном / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Труль – М.: Стройиздат, 1974. – 144с.
25. Скворцов Н.Ф. Применение сталетрубобетона в мостостроении / Н.Ф.Скворцов. – М.: Научно-техническое издательство автотранспортной литературы, 1955. – 87с.
26. Абдалла Самир Салех Прочность бетонных колонн в металлических тонкостенных оболочках: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец.05.23.01 «Строительные конструкции» / Абдалла Самир Салех – Киев, 1985. – 20с.
27. Сінельник О.П. Робота та розрахунок на міцність стиснутих труобетонних елементів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди»/ О.П. Сінельник – Полтава, 2011. – 21с.

28. Стороженко Л.И. Железобетонные конструкции с косвенным армированием//Л.И. Стороженко. – К.: УМКО ВО, 1989. – 99с.
29. Стороженко Л.І. Міцність та деформації стиснутих трубобетонних елементів при місцевому завантаженні/ Л.І.Стороженко, О.В. Назаров, О.П. Сінельник //Бетон и железобетон в Украине. – 2003. – №3. – С.15-17.
30. Васюта В.Б. Стиснуті трубобетонні елементи із різними типами оболонок та ядра: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / В.Б. Васюта. – Полтава, 2002. – 19с.
31. Воронов Р.В. Новые конструктивные решения железобетонных сооружений с листовой арматурой / Р.В. Воронков – Ленинград,1985. – 31с.
32. Стороженко Л.І. Трубобетон / Л.І. Стороженко, Д.А. Єрмоленко, О.І Лапенко. – Полтава: Тов. «АСМІ», 2010. – 306с.
33. Amir Z. F. Behavior of Axially Loaded Concrete-Filled Circular Fiber Reinforced Polymer Tubes/ Amir Z. F. and Sami H. Rizkalla ACI Structural Journal / May-June 2001 - p.p.280-289.
34. Common Unified Rules for Composite Steel and concrete Structures European Committee for Standardization – Part 1: Eurocode No.4: ENV. 1994 - 1-1: 1992. [перевод Палтава,1997] - 180р.
35. Wei-Jian Yi Experimental Studies on Confinement Effect of Steel Hoops in Concrete Columns / Wei-Jian Yi, Peng Li and Sashi K. Kunnath ACI Structural Journal/ January- February 2012 - p.p. 3-10.
36. M. Saiid Saiidi Cyclic Response of Concrete Bridge Columns Using Superelastic Nitinol and Bendable concrete / M. Saiid Saiidi, Melissa O'Brien, and Mahmoud Sadrossadat-Zadeh. ACI Structural Journal/ January-February 2009 – p.p. 69-77.
37. M. Saiid Saiidi. Experimental Study of Two- Way Reinforced Concrete Column Hinges under Seismic boards / M. Saiid Saiidi, Zhi-yuan Cheng, and David Sanders. ACI Structural Journal/ May-June 2009 – p.p. 340-348.
38. Patrick Paultre Seismic Performance of Circular High-Strength Concrete Columns / Patrick Paultre, Rami Eid, Hugo Ita Robles, and Najib Bouaanani ACI Structural Journal/ July-August 2009 – p.p. 395-403.
39. Navapol Krishnamra Spiral post-Tensioning System for Concrete Memders / Navapol Krishnamra, Ekasit Limsuwan, and John Dawe ACI Structural Journal/ September-October 2010 – p.p. 563-571.
40. Amit H. Varma, Richard Sause, James M. Ricles, and Qinggang Li. Development and Validation of Fiber Model for High-Strength Square Concrete-Filled Steel Tube Beam-Columns/ACI Structural Journal/January-February 2005 – p.p. 73-84.

41. Young-Soo Chung Residual Seismic Performance of Reinforced Concrete Bridge Piers After Moderate Earthquakes / Young -Soo Chung, Chang Kyu Park, and Christian Meyer . ACI Structural Journal/ January-February 2008 – p.p. 87-95.
42. Z. Canan Girgin. Modified Failure Criterion to Predict Ultimate Strength of Circular Columns Confined by Different Materials /ACI Structural Journal/ November-December 2009 – p.p. 800-809.
43. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Бурак. – Х: Золотые страницы, 2008. – 336с.
44. Передерий Г.П. Трубчатая арматура. – М.: Трансжелдориздат, 1964. – 90 с.
45. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. – М.: Госстройиздат, 1949. – 280 с.
46. Росновский В.А. Трубобетон в мостостроении. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 110 с.
47. Алперина О.Н. Исследование сжатых железобетонных элементов с поперечным армированием: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1960. – 172 с.
48. Долженко А.А. Трубчатая арматура в железобетоне // Сб. научных трудов ВИСИ. – 1957. – №5. – С. 13-33.
49. Долженко А.А. Исследование сопротивления трубобетона осевому сжатию // Сб. научных трудов ВИСИ. – 1964. – №10. – С. 2-24.
50. Стороженко Л.И. Железобетонные конструкции с внешним армированием. – К.: УМК ВО, 1989. – 99с.
51. Сурдин В.М. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов при осевом нагружении с учетом реологических процессов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кривой Рог, 1970. – 23 с.
52. Спильчук В.М. Сжатые трубобетонные элементы с различными типами оболочек и ядер: Дис. ... канд. техн. наук. – Полтава, 1996. – 208 с.
53. Пенц В.Ф. Напряженно-деформированное состояние оголовков трубобетонных стоек: Дис. ... канд. техн. наук. – Полтава, 1995. – 187 с.
54. Лукша Л.К. Расчет прочности железобетонных конструкций с учетом сложного напряженного состояния бетона: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Минск, 1978. – 36 с.
55. Нестерович А.П. Прочность трубобетонных элементов диаметром 500мм и более при осевом сжатии: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1988. – 21 с.
56. O'Shea M.D., and Bridge R.Q. Circular Thin Walled Concrete Filled Steel Tubes // Proceedings of the 4th Pacific Structural Steel Conference. – Singapore (Malaysia), 2000. – p. 59-68.

57. Грушко И.М. Повышение прочности и выносливости бетона / И.М. Грушко, А.Г. Ильин, Э.Д. Чихладзе. – Харьков: Вища школа, 1986. – 149с.
58. Чихладзе Э.Д. Исследование напряженно-деформированного состояния сталебетонных колонн с учетом пространственной работы бетонного ядра/ Э.Д. Чихладзе, М.А. Веревичева // Строительная механика и расчет сооружений – 2007. – №1. – С.24-28.
59. Чихладзе Э.Д. Экспериментальные исследования трубобетонных колонн при различных схемах загрузения осевой нагрузкой / Э.Д. Чихладзе, А.Г. Кислов, Е.В. Синьковская // Будівельні конструкції: міжвідомчий наук.-техн. зб. наукових праць. – К.: НДІБК,2011. –Вип.74.Книга 1 – С.217- 221.
60. Росновский В.А. Исследование труб заполненных бетоном / В.А. Росновский, А.Ф. Липатов // Железнодорожное строительство. – 1952. – №11. – С.27-29.
61. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / [Под.ред. д.т.н.проф. Гвоздева А.А.]. – М.: Стройиздат, 1978. – 269с.
62. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М.: Гостехиздат, 1961. – 96 с.
63. Фонов В.М Прочность и деформативность трубобетонных элементов при осевом сжатии / В.М. Фонов, И.Г. Людковский, А.П. Нестерович // Бетон и железобетон. – 1989. – №1. – С.4-6.
64. ЧихладзеЭ.Д. Напряженно-деформированное состояния цилиндрической сталебетонной колонны при осевом сжатии / Э.Д. Чихладзе, М.А. Веревичева // Зб.наук.праць Будівельні конструкції. – К.: НДІБК,2007. –Вип.67. – С.389- 400.
65. Катаев В.А. Теоретические исследования и расчет трубобетона / В.А.Катаев // Бетон и железобетон. – 1994. – №2. – С. 26-28.
66. Суров К. Л. К вопросу о расчете прочности и жесткости сталебетонных станин с учетом физической нелинейности / К.Л. Суров, А.И. Акаев, В.И.Римшин // Бетон и железобетон. – 1996. – №1. – С.24-28.
67. Стороженко Л.И. Исследование трубобетонных элементов при осевом сжатии / Л.И. Стороженко, В.М. Сурдин // Научный сборник. Строительные конструкции. – К.: Будівельник,1969. – С.97-106.
68. Стороженко Л.И. Облегченные элементы из трубобетона / Л.И.Стороженко, П.И. Плахотный // Строительная механика и расчет сооружений. – 1986. – № 6. – С.45 - 48.
69. Лукша Л.К. Прочность трубобетона / Л.К. Лукша. – Минск: Вышэйшая школа, 1977. – 96с.

70. Лукша Л.К. Прочность центрально сжатых элементов сталебетонных конструкций / Л.К. Лукша // Сталежелезобетонные конструкции. Исследование, проектирование, строительство, эксплуатация: сб. науч. ст. – Кривой Рог, 2004. – С. 15-21.
71. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами разрушения. – М.: Стройиздат, 1982. – 196 с
72. Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Ч.2. Основные принципы и правила для мостов (EN 1994-2: 2006, IDT): ТКП EN 1994-2-2009 (02250). – [Действующий от 10 декабря 2009г.]: Минск: Минстройархитектуры, 2010.– 80 с. – (Технический кодекс установившейся практики)
73. Кришан А.Л. Определение разрушающей нагрузки сжатых трубобетонных элементов / А.Л. Кришан, А.И. Заикин, М.С. Купер // Бетон и железобетон . – 2008. – №2 – С.22-25.
74. Резван И.В. Несущая способность бетонного ядра трубобетонных колонн / И.В. Резван, Д.Р. Маилян // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2011. – №3. – С.18-25.
75. Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings [EN 1994-1-1Eurocode 4]: Eurocode No.4: ENV. 1994 - 1-1: 1992. [перевод Палтава, 1997] - 188p
76. A unified formulation for circle and polygon concretefilled steel tube columns under axial compression [Text] / Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting Li // Engineering Structures.- 2013. - 49. - p. 1-10
77. Котлова Н.А. Несущая способность железобетонных колонн с косвенным армированием пластинами и высокопрочной продольной арматурой. автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Н.А. Котлова – Свердловск, 1984. – 24 с.
78. Гнедовский В.И. Косвенное армирование железобетонных конструкций / В.И. Гнедовский. – Л.: Стойиздат. Ленинградское отделение, 1981. – 126с.
79. Синьковская Е.В. Рациональные конструкции сталебетонных несущих элементов мостовых опор нового типа: [текст] / Е.В. Синьковская // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: III Всероссийская (II Международная) конференция по бетону и железобетону. – в 7 т. Т.2. Безопасность железобетонных конструкций при особых природных и техногенных воздействиях. Опыт строительства зданий и сооружений. Мониторинг состояния конструкций, зданий и сооружений. – Москва: МГСУ, 2014. – С.328-339.
80. Синьковська О.В. Ефективні сталебетонні циліндричні опори будівель та споруд: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Синьковська Олена Василівна; Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – Харків, 2015. – 267с.

81. Синьковская Е.В. Сталебетонные цилиндрические несущие элементы опор зданий и сооружений нового типа, их несущая способность: [текст] / Е.В. Синьковская // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Вип.149. – Х, 2014. – С.169-178.
82. Sinkovskaya O. Peculiarities of carrying capacity evaluations of cylindrical CFST columns with new tyre casing / O. Sinkovskaya, A.Ignatenko // Materials science, Engineering and Chemistry. Matec web of Conferences. 6th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings" Transbud-2017 Kharkiv, Ukraine, April 19-21, 02031, 2017
83. Синьковська О.В., Ігнатенко А.В. Альтернатива трубо бетонним несучим елементам. Scientific Collection «InterConf», (110): with the Proceedings of the 5 th International Scientific and Practical Conference «Scientific Community: Interdisciplinary Research» (May 26-28, 2022). Hamburg, Germany: Busse Verlag GmbH, 2022. 663-668 p.
84. Листы стальные просечно-вытяжные. Технические условия: ГОСТ 8706-78. – [Действует с 1980-01-01]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. – 5с.
85. Khimiia. Rezultaty ZNO 2017 roku. [Elektronnyi resurs] https://osvita.ua/test/rez_zno/56175/
86. Khimiia. Rezultaty ZNO 2018 roku. [Elektronnyi resurs]http://osvita.dream.net.ua/test/rez_zno/61150/
87. Khimiia. Rezultaty ZNO 2019 roku. [Elektronnyi resurs]https://osvita.ua/test/rez_zno/64832/
88. Khimiia. Rezultaty ZNO 2020 roku. [Elektronnyi resurs]https://osvita.ua/test/rez_zno/75310/
89. Khimiia. Rezultaty ZNO 2021 roku. [Elektronnyi resurs] https://osvita.ua/test/rez_zno/82734/
90. Khimiia. Rezultaty ZNO 2023 roku. [Elektronnyi resurs]. <https://nus.org.ua/news/sered-vybirkovyh-predmetiv-na-nmt-liderom-ye-istoriya-ukrayiny-himiyu-natomist-obralo-najmenshe-uchasnykiv/>
91. MON Ukrainy [Elektronnyi resurs] <https://moz.gov.ua/article/news/novi-umovi-prijomu-do-medichnih-universitetiv>
92. <https://testportal.gov.ua/osnovna-sesiya-nmt-2023-najkrashhi-vstupnyky/>
93. Lokshyna, O., Hlushko, O., Dzhurylo, A., Kravchenko, S., Maksymenko, O., Nikolska, N., Shparyk, O. (2022). Orhanizatsiia osvity v umovakh viiny: rekomendatsii mizhnarodnykh orhanizatsii. Ukrainskyi pedahohichnyi zhurnal, (2), 5-18.

94. Bukliv R. Innovative and modern foundations of pedagogy: колективна монографія / R. Bukliv, M. Noskova, Y. Shalovylo, T. Chaikivskiy, O. Blavt, T. Gurtova, V. Stadnyk, I. Pochapska, Бучок О., Бучок Л.– Boston: Primedia eLaunch, 2022. – 374 с.
95. <http://icct.org.ua/2023/03/13/vidbuvsia-ii-tur-predmetnoi-olimpiady-maybutnie-z-politekhnikoiu-dlia-uchniv-10-11-klasiv-za-napriamom-khimiia/>
96. Яка різниця між 5G NR та 4G LTE? URL:<http://m.ua.ihua-net.com/info/what-is-the-difference-between-5g-nr-and-4g-lt-58824197.html>
97. A. Johnson, J. Molloy, J. Yunes, J. Puthuparampil, A. Elleithy Security in wireless sensors networks, IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), 2019.
98. G.D. O'Mahony, J.T. Curran, P.J. Harris, C.C. Murphy Interference and intrusion in wireless sensor networks, IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag. 35 (2), 2020, pp.4–16.
99. S. Sharma, A. Yadav, M. Panchal, P.D. Vyavahare Classification of security attacks in WSNs and possible countermeasures: a survey, IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), 2019.
100. M. Lichtman, R. Rao, V. Marojevic, J. Reed, and R. P. Jover “5G NR jamming, spoofing, and sniffing: threat assessment and mitigation” in 2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops). IEEE, 2018, pp. 1–6.
101. A. Tsiota, D. Xenakis, N. Passas, L. Merakos “On jamming and black hole attacks in heterogeneous wireless networks” IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019.
102. L. Xiao, X. Lu, D. Xu, Y. Tang, L. Wang, W. Zhuang “Uav relay in vanets against smart jamming with reinforcement learning” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 5, 2018, pp.4087–4097.
103. T. Erpek, Y. E. Sagduyu, and Y. Shi “Deep learning for launching and mitigating wireless jamming attacks,” IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, vol. 5, no. 1, 2018, pp. 2–14.
104. Q. Wang, T. Nguyen, K. Pham, H. Kwon “Mitigating jamming attack: A game-theoretic perspective” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 7, 2018, pp. 6063–6074.
105. Zhang W., Derakhshani M., Lambotharan S. Stochastic Optimization of URLLC-eMBB Joint Scheduling With Queuing Mechanism // IEEE Wireless Communications Letters, 2020, T. 10, №4, pp.844-848.
106. G. Schreiber and M. Tavares “5g new radio physical random access preamble design” 2018 IEEE 5G World Forum (5GWF), 2018, pp.215–220.

107. R. Miller, W. Trappe “On the vulnerabilities of csi in mimo wireless communication systems” *IEEE Transactions on mobile Computing*, vol.11, no. 8, 2011, pp.1386–1398.
108. O. Osanaiye, A. Alfa, G. Hancke “A statistical approach to detect jamming attacks in wireless sensor networks” *Sensors*, vol. 18, no. 6, 2018, p.1691.
109. A. Marttinen, A. Wyglinski, R. Jantti “Statistics-based jamming” detection algorithm for jamming attacks against tactical manets” in *2014 IEEE Military Communications Conference*. IEEE, 2014, pp.501 – 506.
110. O. Punal, I. Aktas, C.-J. Schnelke, G. Abidin, K. Wehrle, J. Gross “Machine learning-based jamming detection for ieee 802.11: Design and experimental evaluation,” in *Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks 2014*. IEEE, 2014, pp.1–10.
111. D. Fang, Y. Qian, R. Q. Hu “Security for 5g mobile wireless networks,” *IEEE Access*, vol. 6, 2017, pp.4850–4874.
112. S. Haykin *Communication systems*. John Wiley & Sons, 2008.
113. S. Djuraev, J.-G. Choi, K.-S. Sohn, S. Y. Nam “Channel hopping scheme to mitigate jamming attacks in wireless lans” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2017, no. 1, 2017, p. 11.
114. M. Strasser, C. Popper, S. Capkun “Efficient uncoordinated fhss anti-jamming communication,” in *Proceedings of the tenth ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*. ACM, 2009, pp. 207–218.
115. Y. Li, B. Kaur, B. Andersen “Denial of service prevention for 5g” *Wireless Personal Communications*, vol. 57, no. 3, pp. 365–376, 2011.
116. N. Adem, B. Hamdaoui, A. Yavuz “Pseudorandom time-hopping anti-jamming technique for mobile cognitive users” in *2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. IEEE, 2015, pp. 1–6.
117. S. Talarico and M. Valenti “Frequency hopping on a 5g millimeterwave uplink” in *2015 49th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*. IEEE, 2015, pp. 333–337.
118. B. Wang, Y. Wu, K. R. Liu, T. C. Clancy “An anti-jamming stochastic game for cognitive radio networks” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 29, no. 4, 2011, pp.877–889.
119. L. Jia, Y. Xu, Y. Sun, S. Feng, A. Anpalagan “Stackelberg game approaches for anti-jamming defence in wireless networks” *IEEE Wireless Communications*, vol. 25, no. 6, 2018, pp.120–128.
120. D. Yang, G. Xue, J. Zhang, A. Richa, X. Fang “Coping with a smart jammer in wireless networks: A stackelberg game approach” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 8, 2013, pp.4038 – 4047.

121. W. Xu, W. Trappe, Y. Zhang “Anti-jamming timing channels for wireless networks” in Proceedings of the first ACM conference on Wireless network security. ACM, 2008, pp. 203–213.
122. Y. Gwon, S. Dastango, C. Fossa, H. Kung “Competing mobile network game: Embracing antijamming and jamming strategies with reinforcement learning” in 2013 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS). IEEE, 2013, pp. 28–36.
123. S. Machuzak and S. K. Jayaweera, “Reinforcement learning based anti-jamming with wideband autonomous cognitive radios,” in 2016 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC). IEEE, 2016, pp. 1–5.
124. X. Lu, L. Xiao, C. Dai, and H. Dai, “Uav-aided cellular communications with deep reinforcement learning against jamming,” preprint:1805.06628, 2018.
125. X. Liu, Y. Xu, L. Jia, Q. Wu, A. Anpalagan “Anti-jamming communications using spectrum waterfall: A deep reinforcement learning approach,” IEEE Communications Letters, vol. 22, no. 5, pp. 998–1001, 2018.
126. H. Akhlaghpasand, E. Bjornson, S. M. Razavizadeh “Jamming” suppression in massive mimo systems” IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 2019.
127. S. D’Oro, E. Ekici, S. Palazzo “Optimal power allocation and scheduling under jamming attacks” IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 25, no. 3, 2016, pp.1310–1323.
128. Шишацький А. В., Башкиров О. М., Костина О. М. Розвиток інтегрованих систем зв’язку та передачі даних для потреб Збройних Сил. // Науково-технічний журнал “Озброєння та військова техніка”. 2015. № 1(5). С. 35 –40.
129. V. Dudnyk, Yu. Sinenko, M. Matsyk, Ye. Demchenko, R. Zhyvotovskiy, Iu. Repilo, O. Zabolotnyi, A. Simonenko, P. Pozdniakov, A. Shyshatskiy. Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 3. No. 2 (105). 2020. pp. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>.
130. Sova, O., Shyshatskiy, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., & Hrokholskiy, Y. Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 2021, No. 4, pp. 30-40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>.
131. Pievtsov, H., Turinskiy, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., and Shyshatskiy, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. EUREKA: Physics and Engineering, No. (4), pp. 78-89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>.

132. P. Zuiev, R. Zhyvotovskiy, O. Zvieriev, S. Hatsenko, V. Kuprii, O. Nakonechnyi, M. Adamenko, A. Shyshatskyi, Y. Neroznak, V. Velychko. Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, Vol. 4, No. 9 (106), pp. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>.
133. A. Shyshatskyi, O. Zvieriev, O. Salnikova, Ye. Demchenko, O. Trotsko, Ye. Neroznak. Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Vol. 9, No. 4, pp. 5583–5590 DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>.
134. Nechyporuk, O., Sova, O., Shyshatskyi, A., Kravchenko, S., Nalapko, O., Shknaï, O., Klimovych, S., Kravchenko, O., Kovbasiuk, O., Bychkov, A. (2023). Development of a method of complex analysis and multidimensional forecasting of the state of intelligence objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 4 (122), pp. 31–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276168>.
135. Koval, V., Nechyporuk, O., Shyshatskyi, A., Nalapko, O., Shknaï, O., Zhyvylo, Y., Yerko, V., Kreminskyi, B., Kovbasiuk, O., Bychkov, A. (2023). Improvement of the optimization method based on the cat pack algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No.9 (121), pp. 41–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273786>.
136. Шишацький А. В., Зайцев М. М., Гаценко С. С. Аналіз характеру сучасних воєнних конфліктів Україна в умовах сучасних викликів та загроз: глобальний та національний виміри: матеріали наук.-практ. семінару (Київ, 17 лют. 2023 р.) / за ред. Г. П. Ситника, Л. М. Шипілової. Київ: На-вч.-наук. ін-т публ. упр. та держ. служби Київ. нац.ун-ту імені Тараса Шевченка, 2023. С.46–49.
137. Заграновская А. В., Эйсснер Ю. Н. Моделирование сценариев развития экономической ситуации на основе нечетких когнитивных карт. *Современная экономика: проблемы и решения*. 2017, №10 (94), С. 33–47. DOI: 10.17308/merp.2017.10/1754.
138. Симанков В. С., Путятю М. М. Исследование методов когнитивного анализа. *Системный анализ, управление и обработка информации*. 2013, № 13. С. 31–35.
139. Y.-C. Ko, H. Fujita. An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*. 2019. Vol. 486. pp. 190–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>.
140. I. J.Ramaji, A. M. Memari. Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*. 2018. Vol. 90. pp. 117–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>.

141. C. J. Pérez-González, M. Colebrook, J. L. Roda-García, C. B. Rosa-Remedios. Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*. 2019. Vol. 120. pp. 167–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>.
142. H. Chen. Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*. Vol. 131. 2018. pp. 952–958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>.
143. H. K. Chan, X. Sun, S.-H. Chung. When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*. 2019. pp. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>.
144. A. M. S. Osman. A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*. 2019. Vol. 91. pp. 620–633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>.
145. I. Gödri, C. Kardos, A. Pfeiffer, J. Vánca. Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*. Vol. 68. Issu. 1. 2019. pp. 471–474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>.
146. J. L. Harding. Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XL-2/W1. 2013. pp. 59–63. DOI: [10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-59-2013](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-59-2013).
147. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *Intern. Journal of Man-Machine Studies*. 1986., Vol. 1., pp. 65–75.
148. Горелова Г.В. Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2013. № 3. С. 239–250.
149. Orouskhani, M., Orouskhani, Y., Mansouri, M., Teshnehlab, M. A novel cat swarm optimization algorithm for unconstrained optimization problems, *International Journal “Information Technology and Computer Science”*, 2013, Vol. 11, pp. 32 – 41.
150. 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>.
151. Mahdi Q. A., Shyshatskiy A., Prokopenko Y., Ivakhnenko T., Kupriyenko D., Golian V., Lazuta R., Kravchenko S., Protas N. & Momit A.. Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, Vol. 3, No. 9(111), pp. 51–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>.

152. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М., Емельянов В. В. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. –432 с.
153. Гороховатський В., Стяглик Н., Царевська, В. Комбінаційний метод прискореного метричного пошуку даних у задачах класифікації зображень. Сучасні інформаційні системи. 2021. Том 5, № 3, с. 5–12. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>.
154. Levashenko, V., Liashenko, O., Kuchuk, N. Побудова системи підтримки прийняття рішень на основі нечітких даних. Сучасні інформаційні системи, 2020, Том 4, № 4, с. 48–56. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>.
155. Meleshko, Y., Driev, O., Drieva, N. Метод ідентифікації профілів ботів на основі нейронних мереж у рекомендаційних системах. Сучасні інформаційні системи, Том 4, № 2, с. 24–28. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>.
156. Kuchuk, N., Merlak, V., & Skorodelov, V. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних. Сучасні інформаційні системи. 2020. Том 4, № 1, с. 97–102. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>.
157. Shyshatskyi, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Vokhno, T., & Lyashenko, A.. Методика оцінки ефективності системи зв'язку оперативного угруповання військ. Сучасні інформаційні системи. 2020. Том 4, № 1, с. 107–112. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>.
158. Raskin, L., & Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(4 (83), 23–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
159. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., & Ugryn, D. Development of a method for determining the keywords in the slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, Vol. 2, No. 2 (86), pp. 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
160. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., & Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the second-order adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, Vol. 2, No.9 (92), pp. 48–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>.
161. Nechyporuk, O., Sova, O., Shyshatskyi, A., Kravchenko, S., Nalapko, O., Shknai, O., Klimovych, S., Kravchenko, O., Kovbasiuk, O., & Bychkov, A. (2023). Development of a method of complex analysis and multidimensional forecasting of the state of intelligence objects . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol 2, No. 4 (122), pp. 31–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276168>.

162. Tarkhan, A. B., Zhuravskiy, Y., Shyshatskiy, A., Pluhina, T., Dudnyk, V., Kiris, I., Nalapko, O., Protas, N., Neronov, S., & Nechyporuk, V. (2023). Development of a solution search method using an improved fish school algorithm . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, No. 4 (124), pp. 27–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.284315>.
163. Koval, V., Shyshatskiy, A., Ransevych, R., Gura, V., Nalapko, O., Shypilova, L., Protas, N., Volkov, O., Stanovskiy, O., & Chaikovska, O. (2023). Development of a method for the search of solutions in the sphere of national security using bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 4 (123), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280355>
164. Koval M., Sova O., Shyshatskiy A., Orlov O., Artabaiev Yu., Shknai O., Veretnov A., Koshlan O., Zhyvylo Ye., Zhyvylo I. Improvement of complex resource management of special-purpose communication systems. *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 2022, Vol 5, No 9 (119), pp.34–44. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266009.
165. Налапко О. Л. Analysis of technical characteristics of the network with possibility to self-organization / О. Л. Налапко, А. В. Шишацький. // *Сучасні інформаційні системи*. – Харків, 2018. – №4, Том 2. – С. 78–86.
166. Nina Kuchuk, Amin Salih Mohammed, Andrii Shyshatskiy and Oleksii Nalapko. The Method of Improving the Efficiency of Routes Selection in Networks of Connection with the Possibility of Self-Organization (Scopus). *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. – 2019. – №1.2., Volume 8. – С. 1–6. DOI: 10.30534/ijatcse/2019/0181.22019.
167. Analysis of mathematical apparatus for managing channel and network resources of military radio communication systems / O.Nalapko, R. Pikul, P. Zhuk, A. Shyshatskiy. // *Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Наукове періодичне видання “Системи управління, навігації та зв'язку”*, Збірник наукових праць. – Полтава, 2019. – №3(55). – С. 166–170.
168. O. Nalapko, A. Shyshatskiy, V. Ostapchuk, Qasim Abbood Mahdi, R. Zhyvotovskiy, S. Petruk, Ye. Lebel, S. Diachenko, V. Velychko, I. Poliak Development of a method of adaptive control of military radio network parameters. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Volume 9 – 2021. – № 1(109). – С. 18–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225331.
169. 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>.

170. Shyshatskyi A. Method of multicriterial evaluation of the state of the special purposes of radio communication system channels / A. Shyshatskyi, O. Zhuk, R. Zhyvotovskiy, P. Zhuk // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. - 2017. - № 4. - С. 75-83. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2017_4_12.
171. Shyshatskyi, A., Sova, O., Zhuravskiy, Y., Zhyvotovskiy, R., Lyashenko, A., Cherniak, O., Zinchenko, K., Lazuta, R., Melnyk, A., & Simonenko, A. (2019). Development of resource distribution model of automated control system of special purpose in conditions of insufficiency of information on operational development. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 1, No 2(51), pp. 35–39. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198082>.
172. Nalapko, O., Sova, O., Shyshatskyi, A., Protas, N., Kravchenko, S., Solomakha, A., Neroznak, Y., Gaman, O., Merkotan, D., & Miahkykh, H. (2021). Analysis of methods for increasing the efficiency of dynamic routing protocols in telecommunication networks with the possibility of self-organization. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 5, No. 2(61), pp. 44–48. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239096>.
173. Minochkin, A., Shyshatskyi, A., Hasan, V., Hasan, A., Opalak, A., Hlushko, A., Demchenko, O., Lyashenko, A., Havryliuk, O., & Ostapenko, S. (2021). The improvement of method for the multi-criteria evaluation of the effectiveness of the control of the structure and parameters of interference protection of special-purpose radio communication systems. *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 4, No.2(60), pp. 22–27. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.235465>.
174. Oleg Sova, Hryhorii Radzivilov, Andrii Shyshatskyi, Dmytro Shevchenko, Bohdan Molodetskyi, Vitalii Stryhun, Yurii Yivzhenko, Yevhen Stepanenko, Nadiia Protas, & Oleksii Nalapko. (2022). Development of the method of increasing the efficiency of information transfer in the special purpose networks. *Eastern-european Journal of Enterprise Technologies*, 3(4 (117)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259727> .
175. Sova, O., Zhuravskiy, Y., Vakulenko, Y., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., & Nalapko, O. (2022). Development of methodological principles of routing in networks of special communication in conditions of fire storm and radio-electronic suppression. *EUREKA: Physics and Engineering*, (3), 159-166. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002434>.
176. Oleg Sova, Hryhorii Radzivilov, Andrii Shyshatskyi, Pavel Shvets, Valentyna Tkachenko, Serhii Nevhad, Oleksandr Zhuk, Serhii Kravchenko, Bohdan Molodetskyi, & Hennadii Miahkykh. (2022). Development of a method to improve the reliability of assessing the condition of the monitoring object in special-purpose information systems. *Eastern-european Journal of Enterprise Technologies*, 2(3 (116)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>.

177. Шишацький А.В., Сова О.Я., Журавський Ю.В., Троцько О.О. Методологічні засади інтелектуальної обробки даних в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Theoretical and scientific foundations in research in Engineering: collective monograph / Beresjuk O., Lemeschew M., Stadnijschuk M., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. 543 p. Available at :DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1. URL: <https://isg-konf.com/theoretical-and-scientific-foundations-in-research-in-engineering/>
178. Романов О. М., Шишацький А. В., Налапко О. Л. Розробка методу підвищення оперативності передачі інформації в мережах спеціального призначення. Modernn aspekty vědy: XXI. Dñl mezinbrodnn kolektivnn monografie / Mezinbrodnn Ekonomickэ Institut s.r.o.. Āeskб republika: Mezinbrodnn Ekonomickэ Institut s.r.o., 2022. С. 381-403.
179. Шишацький А.В., Одарущенко О.Б., Кашкевич С.О., Пилипчук І.Ю., Мягких Г.Г. Обґрунтування методів інтелектуального аналізу даних для вирішення задачі прийняття рішень в умовах невизначеності впливу обстановки. Theoretical and practical scientific achievements: research and results of their implementation: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the IV International Scientific and Theoretical Conference, April 7, 2023. Pisa, Italian Republic: European Scientific Platform. pp. 93-87. ISBN 979-8-88955-784-5, DOI 10.36074/scientia-07.04.2023.
180. Sova, O., Zhuravskiy, Y., Zaitsev, M., Shyshatskiy, A., Andriishena, H. (2022). Development of an approach to the creation of an intellectual system of national security management. ScienceRise, No. 6, pp. 18–24. doi: <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2022.002811>.
181. Shyshatskiy, A., Hurskiy, T., Vdovytskiy, Y., Vozniak, R., Nalapko, O., Andriishena, H., Shabanova-Kushnarenko, L., Protas, N., Vakulenko, Y., & Pyvovarchuk, S. (2023). Development of method for the identification of hybrid challenges and threats in the national security management system. Technology Audit and Production Reserves, No. 2(70), pp. 16–19. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.276544>
182. Sakhabiyev E.V. Elektroterapevticheskaya apparatura [Electrotherapeutic equipment]. KNRTU Publ., 2013. 152 p.
183. Livenson A.R. Elektromeditsinskaya apparatura [Electromedical equipment]. Medicine, 1981. 344 p.
184. Bogolyubov V.M., Ponomarenko G.N. Obshchaya fizioterapiya [General Physiotherapy]. Medicine, 1999. 432 p.
185. Moskvín S.V. Effektivnost' lazernoy terapii [The effectiveness of laser therapy]. Technological Scientific and Technical Center, 2003. 256 p.

186. Tondiy L.D., Zhuravlev V.A. Kolorterapiya [Colorotherapy]. Kharkiv: Slovo Publ., 2013. 144 p.
187. Kipenskiy A.V. Rentgenovskoe izluchenie dlya diagnostiki i lecheniya [X-ray radiation for diagnosis and treatment]. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «Kharkivs'kyi politekhnichnyy instytut» [The collection of scientific works National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"], 2018, no. 4 (1280). pp. 93-100.
188. Chikirdin E.G., Mishkinis A.B. Tekhnicheskaya entsiklopediya rentgenologa [Technical encyclopedia radiologist]. Moscow: MNPI, 1996. 437 p.
189. Nachalos' vse s lyagushki [It all started with a frog]. Available at: <http://www.powerinfo.ru/galvani.php>.
190. Dispute A. Volta and L. Galvani. Available at <http://www.fizika.ru/fakultat/index.php?theme=8&id=8234>.
191. Pasyнков E.I., Rubin L.R. Obshchaya fizioterapiya [General physiotherapy]. Medgiz, 1955. 256 p.
192. Sokol E.I., Kipenskiy A.V., Dotsenko M.E. Analiz vliyaniya vozmushchayushchikh faktorov na vykhodnoy tok apparatov dlya diadinamoterapii [Analysis of the influence of disturbing factors on the output current of devices for diadynamic therapy]. Tekhnichna elektrodinamika [Technical electrodynamic], 2006, no. 4, pp. 121-130.
193. Kubyshkina N.I. Sopostavitel'nyy analiz apparatov dlya gal'vanizatsii i lekarstvennogo elektroforeza, ispol'zuyemykh v meditsinskikh uchrezhdeniyakh [Comparative analysis of devices for galvanization and medicinal electrophoresis used in medical institutions]. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «Kharkivs'kyi politekhnichnyy instytut» [The collection of scientific works National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"], 2010, no. 4, pp. 60–72.
194. Kipenskiy A.V., Gura Yu.N., Kubyshkina N.I. Rezul'taty issledovaniya izmeneniya soprotivleniya mezhelektrodnogo uchastka pri provedenii protsedur lekarstvennogo elektroforeza [Results of the study of changes in the resistance of the interelectrode area during the procedures of drug electrophoresis. Tehnichna elektrodinamika]. IED NANU, 2010, no. 1, pp. 251-255.
195. Remizov A.N. Meditsinskaya i biologicheskaya fizika [Medical and biological physics]. Drofa Publ., 2003. 560 p.
196. Kipenskiy A.V., Deineko D.M., Kubyshkina N.I. Sovremennyy elektroterapevticheskiy apparat dlya gal'vanizatsii i lekarstvennogo elektroforeza [Modern electrotherapeutic apparatus for galvanization and medicinal electrophoresis]. Tekhnichna elektrodinamika [Technical electrodynamic], 2003, no. 1, pp. 91-98.

197. Sokol E.I., Kipenskiy A.V., Korol E.I. Elektronnaya meditsinskaya tekhnika. Razrabotki kafedry «Promyshlennaya i biomeditsinskaya elektronika» NTU «KhPI» [Electronic medical technology. Developments of the department "Industrial and Biomedical Electronics" NTU "KhPI"]. Kharkov: Golden Pages Publ., 2015, 264 p.
198. Ulashchik V.S. Novyye metody i metodiki fizicheskoy terapii [New methods and techniques of physical therapy]. Minsk, 1986, 175 p.
199. Kipenskiy A.V. Obespecheniye kachestva izdeliy meditsinskoy tekhniki sredstvami mikroprotsessornogo impul'snogo upravleniya [Ensuring the quality of medical products by means of microprocessor-based pulse control]. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «Kharkivs'kyi politekhnichnyy instytut» [The collection of scientific works National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"], 2005, no. 38, pp. 59-63.
200. Sokol E.I., Kipenskiy A.V., Vereshchak V.A. Analiz pokazateley kachestva apparatov dlya amplipul'sterapii [Analysis of quality indicators for amplipulse therapy devices] Tekhnichna elektrodinamika [Technical electrodynamics], 2006, no. 3, pp. 123-130.
201. Intellektual'nyye fizioterapevticheskiye sistemy [Intellectual physiotherapeutic systems]. Available at http://www.medium-plus.ru/katalog_tovarov/fizioterapiya/elektroterapiya_i_ultrazvuk/intellect_advanced_apparat_elektroterapii_i_ultrazvuka.
202. Bogolyubov V.M., Ponomarenko G.N. Obshchaya fizioterapiya [General Physiotherapy]. Pravda Publ., 1998, 480 p.
203. Ulashchik V.S., Lukomsky I.V. Obshchaya fizioterapiya [General physiotherapy]. Minsk : Interpressservice; Book House Publ., 2003, 512 p.
204. Sokol E.I., Kipenskiy A.V., Kulichenko V.V. Povysheniye effektivnosti fototerapii putem avtomaticheskogo podbora optimal'nykh parametrov vozdeystviya [Improving the phototherapy effectiveness by automatically selecting the optimal parameters of exposure] Tekhnichna elektrodinamika [Technical electrodynamics], 2011, no. 1, pp. 313-317.
205. Primeneniye printsipov funktsional'nogo bioupravleniya v profilakticheskoy meditsine [Application of the principles of functional biocontrol in preventive medicine]. Available at <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-printsipov-funktsionalnogo-bioupravleniya-v-profilakticheskoy-meditsine>.
206. Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K. et al. Comparative effectiveness of different composting methods on the stabilization, maturation and sanitization of municipal organic solid wastes and dried faecal sludge mixtures. Environ Syst Res 6, 5 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40068-017-0079-4>

207. Robert Rynk, Ginny Black, Jane Gilbert, Johannes Biala, Jean Bonhot, Mary Schwarz, Leslie Cooperband, "The Composting Handbook: A how-to and why manual for farm, municipal, institutional and commercial composters" (2021), 1002 pages.

<https://books.google.com.ua/books?id=zXpKEAAAQBAJ&lpg=PP1&ots=3MD7xdJWZt&dq=BC%20Agricultural%20Composting%20Handbook&lr&hl=uk&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>

208. Food Scrap Recycling: A Primer for Understanding Large-Scale Food Scrap Recycling Technologies for Urban Areas (U.S. EPA Region I, October 2012)

209. EPRS | European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit (STOA) PE 581.913, "Towards a circular economy – Waste management the EU" (September 2017), 140 pages.

210. Bilyavskiy O. G., Butchenko L. I. Fundamentals of ecology, theory and practicum: teaching Manual, 2014. 368 p.

211. TERNES, T. A. Management wastes of pharmaceutical sector of economy.-NY, Queens Collegs. Center for the Biology of Nature Systems, 2011, 34.

212. Курман Т.В. 2018. Сталій розвиток сільськогосподарського виробництва: проблеми правового забезпечення: монографія. Харків, Юрайт, 376 с.

213. Домарацький О.О., Сидякіна О.В., Іванів М.О., Добровольський А.В. 2017. Біопрепарат нового покоління групи Хелафіт у технології вирощування гібридів соняшнику на Півдні України. Таврійський науковий вісник, 98, 51-56.

214. Пічура В.І., Потравка Л.О., Бреус Д.С., Домарацький Є.О. 2022. Перспективи ведення органічного землеробства та ефективність застосування біологічних препаратів в природно-виробничих умовах степу України. The latest basics of agricultural development: collective monograph. Boston: Primedia eLaunch, 163 с.

215. Домарацький Є.О., Базалій В.В., Бойко М.О., Пічура В.І. 2018. Агробіологічне обґрунтування вирощування зернових культур в зоні Степу за умов кліматичних змін: монографія. Херсон, ОЛДІ-ПЛЮС, 334 с.

216. Драговоз І.В., Леонова Н.О., Лапа С.В., Данкевич Л.А., Падалко С.Ф., Бобик Л.В., Авдєєва Л.В. 2014. Фітостимулювальна, антагоністична активність та біологічна ефективність штаму bacillus subtilis ІМВ В-7243. Мікробіологія і Біотехнологія, 4, 77-87

217. Василенко М.Г. Терновий Ю.В. Швиденко І.К. Душко П.М. 2020. Застосування біологічного стимулятора росту рослин «Екоцим» у сільськогосподарському виробництві. Агроєкологічний журнал, 3, 96-101.

218. Улзійжаргал Е. 2020. Біотехнологія використання нанокмпозитного бактеріального препарату Азогран і його протекторна роль у агроєкосистемі ячменю. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії. Київ, 139 с.

219. Грабак Н.Х. 2011. Екологічний напрям у землеробстві та його перспектива. Екологія: наук. пос., Вип 140, т. 152, 20-25.
220. Федерація органічного руху в Україні URL: <http://www.organic.com.ua>.
221. Балян А.В. 2013. Внесок аграрної науки в розвиток органічного виробництва. Вісник аграрної науки, № 11, 9-12.
222. Бабич А.О. 1996. Світові земельні, продовольчі і кормові ресурси. Київ, Аграрна наука, 200 с.
223. Віллер Х. 2013. Світ органічного сільського господарства. Статистика та тенденції 2013 року. Дослідний інститут органічного сільського господарства (FiBL), за ред. Н. Прокопчук. Київ, ФОП Лесін М.В, 65 с.
224. Бомба М.Я. 2004. Наукові та прикладні аспекти біологічного землеробства. Львів, Українські технології, 232 с.
225. Chaney R., Stoffella P.J., Khan B. A.L. 2001. Heavy metal aspects of compost use. Compost utilization in horticultural cropping systems, FL: CRC Press LLC, 324-359.
226. Петриченко В.Ф. 2011. Землеробство з основами екології, ґрунтознавства та агрохімії: навч. посіб. Київ, Аграрна наука, 492 с.
227. Арешніков Б.А., Гончаренко М.П., Костюковський М.Г. 1992. Захист зернових культур від шкідників, хвороб і бур'янів. Київ, Урожай, 224 с.
228. Mukhtar S., Shahid I., Mehnaz S., Malik K.A. 2017. Assessment of two carrier materials for phosphate solubilizing biofertilizers and their effect on growth of wheat (*Triticum aestivum* L.), *Microbiological Research*, 205, 107–117.
229. Chatterjee A., Argawal C., Yadav S., Rai R., Rai L.C. 2017. Role of algae as a biofertilizer. *Algal Green Chemistry. Recent Progress in Biotechnology*. Elsevier, 189-200. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63784-0.00010-2>
230. Singh M., Singh D., Gupta A., Pandey K.D., Singh P.K., Kumar A. 2019. Plant growth promoting rhizobacteria: application in biofertilizers and biocontrol of phytopathogens. *PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture. Food Security and Environmental Management*, Elsevier, 41-66. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815879-1.00003-3>
231. Tejada M., Rodríguez-Morgado B., Franco-Andreu L., Gómez I., Benítez C., Parrado J. 2016. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. *European Journal of Agronomy*, 78, 13-19.
232. Abbasi M.K., Sharif S., Kazmi M., Sultan T., Aslam M. 2011. Isolation of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on improving growth, yield and nutrient uptake of plants, *Plant Biosystems*, 145 (1), 159-168.

233. Meena V.S., Meena S.K., Verma J.P., Kumar A., Aeron A., Mishra P.K., Bisht J.K., Pattanayak A., Naveed M., Dotaniyah M.L. 2017. Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: a review, *Ecological Engineering*, 107, 8-32.
234. Sharma V., Shanmugam V. 2012. Purification and characterization of a 24 kDa chitinase from the mycoparasitic fungus *Trichoderma saturnisporum*. *Journal of Basic Microbiology*, 52, 324-331.
235. Nath D., Maurya B.R., Meena V.S. 2017. Documentation of five potassium- and phosphorus-solubilizing bacteria for their K and P-solubilization ability from various minerals. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10, 174-181.
236. Saritha M., Tollamadugu N.V.K.V.P. 2019. The status of research and application of biofertilizers and biopesticides: global scenario. In book: *Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, 195-207, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816328-3.00015-5>.
237. Yao Y., Zhang M., Tian Y., Zhao M., Zeng K., Zhang B., Zhao M., Yin B. 2018. Azolla biofertilizer for improving low nitrogen use efficiency in an intensive rice cropping system, *Field Crops Research*, 216, 158-164.
238. Oertel C., Matschullat J., Zurba K., Zimmermann F., Erasmi S. 2016. Greenhouse gas emissions from soils. *Geochemistry*, 76 (3), 327-352.
239. Stamenković S., Beškoski V., Karabegović I., Lazić M., Nikolić N. 2018. Microbial fertilizers: a comprehensive review of current findings and future perspectives. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16 (1), 1-18.
240. Vassileva M., Malusà E., Sas-Paszt L., Trzcinski P., Galvez A., Flor-Peregrin E., Vassilev N. 2021. Fermentation strategies to improve soil bio-inoculant production and quality. *Microorganisms*, 9 (6), 1254.
241. He Z., Peng H., Wang S., Zhang J., Li X., Ma C., Zhao X. 2020. High-density Fermentation of *Bacillus Subtilis* with Corn Steep Liquor as an alternative Substrate, 13(11), 12-17.
242. Kowalska J., Remlein-Starosta D., Seidler-Łożykowska K., Bocianowski K.J. 2014. Can *Trichoderma asperellum* [T1] stimulate growth of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) in different systems of cultivation? *Acta Scientiarum Polonorum – Hortorum Cultus*, 13 (1), 91-102.
243. Glick B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica* 2012, 1-15. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>.
244. Badri D.V., Vivanco J.M. 2008. Regulation and function of root exudates. *Plant, Cell & Environment*, 32 (6), 666-681. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01926.x>.

245. Baudoin E., Benizri E., Guckert A., 2003. Impact of artificial root exudates on the bacterial community structure in bulk soil and maize rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, 35 (9), 1183-1192. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00179-2](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00179-2).
246. Benizri E., Kidd P.S. 2018. The role of the rhizosphere and microbes associated with hyperaccumulator plants in metal accumulation. In book: *Agromining: Farming for Metals*. Springer International Publishing, 157-188. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61899-9_9
247. Novo L.A.B., Castro P.M.L., Alvarenga P., da Silva E.F. 2018. Plant growth-promoting rhizobacteria-assisted phytoremediation of mine soils. *Bio-geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*, 1, Elsevier, 281-295. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00016-6>.
248. Khan A.G. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18 (4), 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.006>.
249. Goswami D., Thakker J.N., Dhandhukia P.C. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Cogent Food Agriculture*, 2 (1), 1127500. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127500>.
250. Alves A.R.A., Oliveira R.S., Silva E.F., Novo L.A.B. 2021. Role of bacteria and mycorrhizal fungi in phytomining: status and future perspectives. *Microbe Mediated Remediation of Environmental Contaminants*, Elsevier, 15-26. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821199-1.00002-X>.
251. Kloepper J.W., Schroth M.N. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. IV international conference on plant pathogenic bacteria, 2, 879-882.
252. Kloepper J.W., Leong J., Teintze M., Schroth M.N. 1980. Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. *Nature*, 286, 885-886.
253. Bhattacharyya P.N., Jha D.K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiological Biotechnologies*, 28, 1327-1350.
254. Kumar M., Tallapragada S., Singh R.P. 2018. Increase in growth and productivity of wheat (*Triticum Aestivum* L.) applied with a native strain of *Trichoderma Brevicom-pactum* in earthen pots. *Climate Change Environmental Sustainability*, 6 (2), 160-166.
255. Kumar M., Singh R.P. 2019. Plant growth promoting and organic waste degrading activities of a native rhizobacterial strain of (*Alcaligenes faecalis*) for Wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation. *Indian Journal of Environmental Protection*, 39 (4), 333-338.

256. Nunkaew T., Kantachote D., Kanzaki H., Nitoda T., Ritchie R.J. 2014. Effects of 5-aminolevulinic acid (ALA)-containing supernatants from selected *Rhodospseudomonas palustris* strains on rice growth under NaCl stress with mediating effects on chlorophyll, photosynthetic electron transport and antioxidative enzymes. *Electronic Journal of Biotechnology*, 17 (1), 19-26.
257. Murali M., Amruthesh K.N., Niranjana S.R., Shetty H.S. 2012. Screening for plant growth promoting fungi and their ability for growth promotion and induction of resistance in pearl millet against downy mildew disease. *Journal of Phytological Research*, 4 (5), 30-36.
258. Akter Z., Weinmamm M., Neumann G., Römheld V. 2013. An in-vitro screening method to study the activity potential of biofertilizers based on *Trichoderma* and *Bacillus* sp. *Journal of Plant Nutrition*, 36, 1439-1452.
259. Yadav S.K., Dave A., Sarkar A., Singh H.B., Sarma B.K. 2013. Co-inoculated biopriming with *Trichoderma*, *Pseudomonas* and *Rhizobium* improves crop growth in *Cicer arietinum* and *Phaseolus vulgaris*. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*, 6 (2), 255-259.
260. Hosseini A., Maleki A., Fasihi K., Naseri R. 2014. The co-application of plant growth promoting rhizobacteria and inoculation with rhizobium bacteria on grain yield and its components of Mungbean (*Vigna radiate* L.) in Ilam Province, Iran. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 8 (7), 764-769.
261. Grobelak A., Napora A., Kacprzak M. 2015. Using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve plant growth, *Ecological Engineering*, 84, 22-28.
262. Ali H., Khan E., Sajad M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. *Chemosphere*, 91 (7), 869-881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>.
263. Edelstein M., Ben-Hur M. 2018. Heavy metals and metalloids: sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops. *Science Horticulture*, 234, 431-444. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.039>.
264. Marrugo-Negrete J., Pinedo-Hernández J., Díez S. 2017. Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River basin, Colombia. *Environmental Resources*, 154, 380-388. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.021>.
265. Briffa J., Sinagra E., Blundell R. 2020. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon* 6, e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.
266. Garbisu C., Alkorta I., Kidd P., Epelde L., Mench M., 2020. Keep and promote biodiversity at polluted sites under phytomanagement. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 44820-44834. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10854-5>.

267. Harris J. 2009. Soilmicrobial communities and restoration ecology: facilitators or followers. *Science*, 325 (5940), 573-574. <https://doi.org/10.1126/science.1172975>.
268. Pollard A.J., Reeves R.D., Baker A.J.M. 2014. Facultative hyperaccumulation of heavy metals and metalloids. *Plant Science*, 217-218, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.11.011>.
269. Shah V., Daverey A. 2020. Phytoremediation: a multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology and Innovation*, 18, 100774. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>.
270. Tzvetkova C., Novo L.A.B., Atanasova-Vladimirova S., Vassilev T. 2021. On the uptake of rhenium by plants: accumulation and recovery from plant tissue. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129534. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129534>.
271. Sheoran V., Sheoran A.S., Poonia P. 2016. Factors affecting phytoextraction: a review. *Pedosphere*, 26 (2), 148-166. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60032-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60032-7).
272. Ma Y., Rajkumar M., Oliveira R.S., Zhang C., Freitas H. 2019. Potential of plant beneficial bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of metal-contaminated saline soils. *Journal of Hazardous Materials*, 379, 120813. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120813>.
273. Whipps J.M., 2001. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52, 487-511. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0035013630&partnerID=40&md5=1ac95313ae683ab62633f01fd01ad576>
274. Elekhtyar N.M. 2015. Efficiency of *Pseudomonas fluorescens* as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of seedling vigor, nitrogen uptake, yield and its attributes of rice (*Oryza sativa* L.), *International journal of scientific research in agricultural sciences*, 2, 57-67.
275. Inagaki A.M., Guimarães V.F., Lana M.C., Klein J., da Costa A.C.P.R., Rodrigues L.F.O.S., Rampim L. 2015. Maize initial growth with the inoculation of plant growth-promoting bacteria (PGPB) under different soil acidity levels. *Australian Journal of Crop Science*, 9 (4), 271-280.
276. Hong-yuan W., Liu S., Zhai J.L., Zhang R., Ren T., Fan B., Liu H. 2015. Preparation and utilization of phosphate biofertilizers using agricultural waste. *Journal of Integrative Agriculture*, 14 (1), 158-167.
277. Loudon B.C., Haarmann D., Lynne A.M. 2011. Use of blue agar CAS assay for siderophore detection. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 12 (1), 51-53. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v12i1.249>.
278. Tsukanova K.A., Chebotar V.K., Meyer J.J.M., Bibikova T.N. 2017. Effect of plant growth-promoting rhizobacteria on plant hormone homeostasis. *South African Journal of Botany*, 113, 91102.

279. Maheshwari D.K., Dheeman S., Agrawal M. 2015. Phyto-hormone producing PGPR for sustainable agriculture, in book: *Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem. Sustainable Development and Biodiversity*. Springer, 159-182. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24654-3-6>.
280. Kang S.M., Radhakrishnan R., Khan A.L., Kim M.J., Park J.M., Kim B.R., Shin D.H., Lee I.J. 2014 Gibberellin secreting rhizobacterium, *Pseudomonas putia* H-2-3 modulates the hormonal and stress physiology of soybean to improve the plant growth under saline and drought conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 84, 115-124.
281. Egamberdieva D., Wirth S., Jabborova D., Räsänen L.A., Liao H. 2017. Coordination between *Bradyrhizobium* and *Pseudomonas* alleviates salt stress in soybean through altering root system architecture. *Journal of Plant Interactions*, 12, 100-107.
282. Rana A., Joshi M., Prasanna R., Shivay Y.S., Nain L. 2012. Biofortification of wheat through inoculation of plant growth promoting rhizobacteria and cyanobacteria. *European Journal of Soil Biology*, 50, 118-126.
283. S. Lys. Analysis of the effect of pollution of component surfaces as a result of possible contact of fresh nuclear fuel with sea atmosphere on corrosion. *Energy Engineering and Control Systems*, 2023, Vol. 9, No. 1, pp. 17 – 21. <https://doi.org/10.23939/jeeecs2023.01.017>
284. Kosinov, V.A., Kuchin, O.P., Novikov, O.K., Osharina, L.V., Fedenko, V.I. (1983) Corrosion of alloy Zr – 1% Nb in distilled water containing ions of Cl or F at temperature 300 0C, IATF specialists meetings on «Influence of water chemistry on fuel element cladding behaviour in water cooled power reactors». Leningrad / USSR/ 6-10 June 1983. /IWGFPT/ 17. IAEA/ Vienna.
285. Stepan Lys, Alexander Kanyuka (2021) Analysis of fuel rod performance per cycle: Temperature field, FGP release, swelling. *Thermal Science and Engineering Progress*, Volume 25, 100961. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100961>
286. Knittel, D.R. (1982) The effect of surface treatment on pitting potentials of zirconium in chloride solution. *Corrosion*. V. 38, №5, p. 140.
287. Preliminary safety analysis reports. Topical report. Development of recommendations on storage of fresh fuel within five years. Justification of requirements for storage atmosphere, 412-312-O-10, KK.UJA.JKA.TM.TR.PR033, 2001.
288. Semerak, M.M., Lys, S.S. (2021) Research the behaviour and properties of WWER type fuel claddings from Zr1%Nb alloy in loss of the coolant accident. *Problems of atomic science and technology*, Kharkiv, №2(132). 80–86. <https://doi.org/10.46813/2021-132-080>

289. Stepan Lys, Alexandr Kanyuka (2022) Algorithms for processing self-powered neutron detector signals important for determination of local parameters in each part of the VVER core EPJ Nuclear Sci. Technol. 8, 17. <https://doi.org/10.1051/epjn/2022008>
290. Lys, S.S., Semerak, M.M., Kanyuka, A.I. (2021) Analysis of reliability of automatic core protection function of the reactor V-412 in response to local parameters: maximum linear power, departure from nucleate boiling ratio. Problems of atomic science and technology. Kharkiv, №5(135). 88–97. <https://doi.org/10.46813/2021-135-088>
291. Flegler S. L., Heckman J. W., Klomparens K. L. Scanning and transmission electron microscopy: an introduction. Oxford : Oxford University Press, 1993. 385 p.
292. Joy D. C., Romig A. D., Goldstein J. I. Principles of analytical electron microscopy. New York : Plenum Press, 1986. 522 p.
293. Stohr J., Siegmann H. C. Magnetism: From Fundamentals to Nanoscale Dynamics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 820 p.
294. Schertmann U., Cornell R. M. Iron Oxides in the Laboratory: Preparation and Characterization., Weinheim : VCH, 1991.
295. Dumazet–Boonamour I., Le Perchec P. Colloidal dispersion of magnetite nanoparticles via in situ preparation with sodium polyoxyalkylene di–phosphonates. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2000. Vol. 173. P. 61.
296. Harris Linda A. Polymer Stabilized Magnetite Nanoparticles and Poly(propylene oxide) Modified Styrene–Dimethacrylate: Dissertation for degree of doctor of philosophy in chemistry. Blacksburg, Virginia, 2002. 173 p.
297. Overbuk J. Recent Developments in the Understanding of Stability. J.Coll. and Interf. Science. 1977. Vol. 58 (2). P. 408–422.
298. Gleiter H. Nanostructured materials. Basic concepts and microstructure. Acta Mater. 2000. Vol. 48 (1). P. 1–29. Stohr J., Siegmann H. C. Magnetism: From Fundamentals to Nanoscale Dynamics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 820 p.
299. Schertmann U., Cornell R. M. Iron Oxides in the Laboratory: Preparation and Characterization., Weinheim : VCH, 1991.
300. Dumazet–Boonamour I., Le Perchec P. Colloidal dispersion of magnetite nanoparticles via in situ preparation with sodium polyoxyalkylene di–phosphonates. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2000. Vol. 173. P. 61.
301. Sun Y.-K., Ma M., Zhang Y., Gu N. Synthesis of nanometer-size maghemite particles from magnetite. Colloids Surf., A. 2004. Vol. 245. P. 15–19.

302. Lee S.-J., Jeong J.-R., Shin S.-C., Kim J.-C., Kim J.-D. Synthesis and characterization of superparamagnetic maghemite nanoparticles prepared by coprecipitation technique. *J. Magn. Magn. Mater.* 2004. Vol. 282. P. 147–150.
303. Basak S., Chen D.-R., Biswas P. Electrospray of ionic precursor solutions to synthesize iron oxide nanoparticles: Modified scaling law. *Chem. Eng. Sci.* 2007. Vol. 62. P. 1263–1268. Пат. 4430239 США, ISM H01F 10/10, Ferrofluid composition. Wyman J.E. /USA/.
304. Пат. 113268 (UA), МПК В01J 39/00 Спосіб отримання магнітного волокнистого матеріалу. Редько Я. В., Романкевич О. В. (Україна). № u201606527; заявл. 15.06.2016; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.
305. Red'ko Ya., Romankevich, Fiber O. Decorated with Magnetite Using Heterocoagulation. *Fibre Chemistry.* 2014. Vol. 46 (4). P. 257–261.
306. Red'ko Ya. Application of the method in situ in the process of nanotreatment for the obtaining of functional textile materials. *Actual problems of modern science : monograph.* Edited by Musial J., Polishchuk O., Sorokatiy R. 2017. P. 249–257.
307. Редько Я. В., Супрун Н. В. Застосування рентгенофазового аналізу для визначення розмірів неорганічної фази в нанокompозитах на волокнистій основі. *Вісник КНУТД.* № 3. 2017. С. 114–121.
308. Suprun N., Red'ko Y. Flexible textile absorbers of electromagnetic radiation. *3rd IEEE AICT 2019 Conference Proceedings.* 2019. P. 88–91.
309. А.А. Долинский, К.Д. Малецкая. Распылительная сушка: Т.1. Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения.- Киев: Академперіодика, 2011.- 376 с. ISBN 978-966-360-175-5.
310. Gustov Y.I. Biomekhanicheskie modelirovaniya v zemlerojnoj tekhnike / Y.I. Gustov, R.U. Shukurov, I.V. Voronina // *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii : sbornik nauchn. trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii.* – Bryansk : BGITA, 2007. – Iss. 7. – Pp. 16–18.
311. Mashini dlya zemlyanih robit : navch. posibnik / L.A. Hmara, S.V. Kravec, V.V. Nichke, L.V. Nazarov [ta in.] // *Pid zagal'noyu redakcieyu prof. Hmari L.A. ta prof. Kravcya S.V.* – Rivne-Dnipropetrovs'k-Harkiv, 2010. – 557 p.
312. Dyachenko S.S. Ionno-plazmova obrobka yak faktor pidvishchennya konstrukcijnoi micnosti stalevih virobiv / S.S. Dyachenko, I.V. Ponomarenko // *Novi materialy i tekhnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni.* – 2009. – No.1. – Pp. 71–77.
313. Vencel E.S. Povyshenie iznosostojkosti rabochih organov zemlerojno-transportnyh mashin : monografiya / E.S. Vencel, A.V. Shchukin. – Harkov, 2015. – 106 p.

314. Pat. 68141 Ukraine, MPK S23S 14/48 (2006.1) Sposib pidvishchennya dovgovichnosti robochih organiv zemlerijno-transportnih mashin / Vencel E.S., Glushkova D.B., Shchukin O.V.; zayavniki ta patentovlasniki Vencel E.S., Glushkova D.B., Shchukin O.V. – No. 2011 12143 ; zayavl. 17.10.2011 ; opubl. 12.03.2012, Byul. No. 5.
315. Dependence of Wear Intensity on Parameters of Tribo Units / Ye. Ventsel, O. Orel, O. Shchukin, N. Saienko, A. Kravets' // Tribology in Industry. – 2018. – Vol. 40, № 2. – P. 195–202. – DOI: 10.24874/ti.40.02.03. (Scopus).
316. Increasing Tribo Unit Wear Resistance with the Ion-Plasma Coating / Ye. Ventsel, D. Glushkova, O. Orel, O. Shchukin, N. Saienko // Tribology in Industry. – 2019. – Vol. 41, № 1. – P. 43–49. – DOI: 10.24874/ti.2019.41.01.05. (Scopus).
317. Стратегія майбутнього: Україна - це енергетичний хаб, який допоможе Європі позбутися залежності від Росії. – Міненерго України, 21.06.23. <https://www.kmu.gov.ua/news/strategiia-maibutnoho-ukraina-tse-enerhetychnyi-khab-iakyi-dopomozhe-ievropi-pozbutysia-zalezhnosti-vid-rosii>.
318. Проект Плану відновлення України. - Матеріали робочої групи «Енергетична безпека» Національної ради з відновлення України від наслідків війни, 2022. – 164 с.
319. Kulyk, M.M., Kyrylenko, O.V. The state and prospects of hydroenergy of Ukraine. Technical Electrodynamics, 2019, 4, 56-64.
320. Bilan, T.R., Kaplin, M.I. Security aspects of the balance of carbonaceous fuels under conditions of establishing the new fuel supply schemes in Ukraine. The Problems of General Energy, 2016, 4(47), 23-29.
321. Bilan, T., Kaplin, M., Makarov, V., Perov, M., Novitskii, I., Zaporozhets, A., Havrysh, V., Nitsenko, V. The balance and optimization model of coal supply in the flow representation of domestic production and imports. Energies. 15, 8103 (2022). <https://doi.org/10.3390/en15218103>
322. Babak, V., Kulyk, M. Development of the New Electrothermal Energy System Structure for Providing of Ukraine's Energy Market Profitability. In: Zaporozhets, A. (eds.) Systems, Decision and Control in Energy V. Studies in Systems, Decision and Control, vol. 481. Springer, Cham. 3-22 (2023).
323. Makarov, V., Kaplin, M., Bilan, T., Perov, M. Modeling the coal industry technological development considering environmental restrictions. In: Zaporozhets, A., Artemchuk, V. (eds.) Systems, Decision and Control in Energy II. Studies in Systems, Decision and Control, vol. 346. Springer, Cham. 153-165 (2021). https://doi.org/10.1007/978-3-030-69189-9_9

324. Makarov, V., Makortetskyi, M., Perov, M., Bilan, T., Ivanenko, N. Mathematical Model of Optimal Support of Thermal Energy with Coal Products Taking into Account Environmental Constraints. In: Zaporozhets A. (eds) Systems, Decision and Control in Energy III. Studies in Systems, Decision and Control, vol 399. Springer, Cham. 75-88 (2022). https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-87675-3_4
325. Nechaieva, T.P. Modeling ensuring demand-supply balance of the power system in conditions of significant renewable generation. The Problems of General Energy, 2022, 1-2(68-69), 42-99.
326. Shulzhenko, S., Kostyukovskyi, B., Maliarenko, O., Makarov, V., Bilenko, M. Thermal Power Plants' Coal Stock Short Term Projection Method for Ensuring National Energy Security. In: Zaporozhets, A. (eds.) Systems, Decision and Control in Energy IV. Studies in Systems, Decision and Control, vol. 454. Springer, Cham. 279-289 (2023). https://doi.org/10.1007/978-3-031-22464-5_16
327. Nechaieva, T.P. Model and structure of the long-term development of generating capacities of a power system with regard for the commissioning and decommissioning dynamics of capacities and changing their technical-and-economic indices. The Problems of General Energy, 2018, 3(54), 5-9.
328. Makarov, V., Kaplin, M., Perov, M., Bilan, T., Maliarenko, O. Optimization of Coal Products Supply for the Power Industry and the Country's Economy. In: Zaporozhets, A. (eds.) Systems, Decision and Control in Energy V. Studies in Systems, Decision and Control, vol. 481. Springer, Cham. 87-98 (2023). https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_6
329. Henderson, J.M. A short-run model for the coal industry. The Review of Economics and Statistics. 1955, Vol. 37, 4, 336–346.
330. Green, J.W. Western Energy: The Interregional Coal Analysis Model. Natural Resource Economics Division; Economics, Statistics, and Cooperatives Service; U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin. 1627 (1980)
331. Suwala, W. Models of Coal Industry in Poland. Gospodarka surowcami mineralnymi. 2010, 26, 41–52.
332. Кулик М.М. Роль вугілля у формуванні паливно-енергетичних балансів та оптимізація розвитку вугільної промисловості України. Проблеми загальної енергетики. 2002. 1(6). 7—16.
333. Павленко И.И. Моделирование развития угольной промышленности Украины в условиях ограниченных инвестиций. Економіка промисловості. 2007. 1. 105—111.
334. Алавердян Л.М. Економіко-математична модель оптимального розвитку вугільної промисловості України. Вісник МНТУ, серія «Економіка». 2010. 1. 121—123.

335. Liu, C.M.: A blending and inter-modal transportation model for the coal distribution problem. *International Journal of Operations Research*. 2008, 5, 107–116.
336. Shih, L.H. Planning of fuel coal imports using a mixed integer programming method. *Int. J. Prod. Econ.* 1997, 151, 243–249.
337. Гриффен А. Л., Макортецкий Н. Н., Макаров В. М., Перов Н. А. Методические основы определения перспективности шахт Украины // *Геотехническая механика. Межведомственный сб. науч. тр. – Вып. 44. – Днепропетровск. – 2003. – С. 60-64.*
338. Белозерцев О. В. Оценка инвестиционной привлекательности угольных предприятий. *Энергетика: экономика, технология, экология*. 2002. 4. 91-95.
339. Рублевский Н. Т., Макортецкий Н. Н., Новицкий И. Ю. Оптимизация прироста производственных мощностей в зависимости от капитальных вложений в перспективные действующие угольные шахты. *Проблемы загальної енергетики*. 2003. 8. 12-13.
340. Галасюк В., Кабаченко Д. Расчет показателей платежеспособности предприятия на основе новой формы бухгалтерского баланса согласно Положению (стандарту) бухгалтерского учета №2 «Баланс». *Фондовый рынок*. 2000. 5.
341. Кабаченко Д. Фактор времени при расчете показателей финансовой отчетности. *Економіка: проблеми теорії та практики: Зб. наук. праць ДНУ*. 2002. Вип. 145.
342. Радченко В. В., Пономаренко П. И., Кабаченко Д. В. Пути повышения конкурентоспособности угольной отрасли. *Уголь Украины*. 2006. 1. 21-26.
343. Вагонова О. Г. Економічні проблеми підтримання потужності та інвестування вугільних шахт України / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук. Донецьк: ІЕП НАН України. 2006. 19 с.
344. Evolution of thermal pumps. *Electronic magazine of power service company «Ecological Systems»*. – 2012. – № 9. – pp. 15 – 32.
345. Matsevyt Y.M. Alternative system of a heat supply on the basis of the thermal pump with the soil heat exchanger / Y.M. Matsevyt, N.B. Chirkin, V.N. Ostapchuk // *Energy saving, power engineering, energy audit*. – 2007. – №. 8. – pp 111 – 154.
346. Buderus. *Technical information*. – К.: 2010. – 170 p.
347. Kermi. *Passport data of radiators*. – К.: 2010. – 59 p.
348. Based on the materials <http://www.meteoprog.ua/ru/climate/Lviv/>

349. Rymar T., Kazmiruk M., Shyika I. The efficiency of nanofluid use in the heat supply system of a house with a geothermal heat pump // *Nanomaterials: applications and properties: proceedings of 2021 IEEE 11th International conference*, Odesa, Ukraine, September 5 – 11, 2021. – 2022.
350. Pirkov V.V. Features of modern water heating systems. – K.: DP «Taki spravy», 2003. – 176 p.
351. SNiP 2.04.05 – 91 Heating, ventilation and air conditioning. Changes №3. –K.: 2006. – 89 p.
352. Вінюков, О. О., Бондарева, О. Б., Коноваленко, Л. І., & Коробова, О. М. (2018). Науково-методичні засади отримання якісної і екологічно безпечної рослинницької продукції в умовах промислового регіону. Київ: Голден Арт Принт.
353. Андрійченко, Л. В., Хомяк, П. В., Рибка, В. С. & Компанієць, В. О. (2010). Агроекологічні та економічні аспекти вирощування озимої пшениці в умовах Південного Степу України. *Екологія*, (132/119), 41–44.
354. Білітюк, А. П. (2007). Біологізація, технологія – засіб підвищення урожайності і якості зерна. *Вісник Полтавської аграрної академії*, (3), 10–13.
355. Патица, В. П. (1994). Проблеми і перспектива використання мікробіологічних препаратів. *Вісник аграрної науки*, (11), 96–101.
356. Найдьонова, О. Є. (2015). Застосування гумінового препарату «Humin plus» в органічному землеробстві. *Вісник ХНАУ*, (2), 39–50.
357. Волкогон, В. В., Гусєв, О. В. & Волкогон, К. І. (2005). Особливості азотного живлення ячменю при застосуванні нового біологічного препарату мікрогуміну. *Живлення рослин: теорія і практика*. К.: Логос.
358. Біднина, І. О., Влащук, О. С., Козирєв, В. В. & Томницький, А. В. (2013). Ефективність сумісного застосування добрив та мікробних препаратів при вирощуванні сільськогосподарських культур на півдні України. *Зрошуване землеробство*, (60), 54–56.
359. Вінюков, О. О., Бондарева, О. Б., Коробова, О. М. & Чугрій, Г. А. (2018). Вплив біопрепаратів на продуктивність пшениці озимої на різних фонах живлення в умовах Донецької обл. *Вісник аграрної науки*, (11), 41–47.
360. Шерстобоева, О. В. (2004). Роль мікробіологічних препаратів у підвищенні продуктивності рослин екологічно безпечними засобами. *Физиология и биохимия культурных растений*, 36 (3), 229–235.
361. Василенко, М. Г., Стадник, А. П., Душко, П. М., Драга, М. В., Кічігіна, О. О. & Зацарінна, Ю. О. (2018). Урожайність і якість насіння сільськогосподарських культур за дії регуляторів росту рослин. *Агроекологічний журнал*, (1), 96-101. DOI:10.33730/2077-4893.1.2018.161350

362. Дмитришак, М. Я., & Філь, Т. П. (2017). Урожайність ячменю ярого залежно від застосування стимуляторів росту. *Агрономія. Наукові доповіді НУБіП України*, № 4 (68).
363. Вінюков, О. О., Коробова, О. М., Бондарева, О. Б. & Коноваленко, Л. І. (2017). Використання біо- та рістрегулюючих препаратів для підвищення продуктивності та якості зерна ячменю ярого. *Збалансоване природокористування*, (3), 46–50.
364. *Методологія та організація наукових досліджень: підручник.* (2010). Вінниця : Видавництво ВНТУ “УНІВЕРСУМ-Вінниця”.
365. Борук, С. Д., Воробець, М. М., Дійчук, В. В., & Сема, О. В. (2021). *Хімія смаку, кольору і запаху: навч. посібник.* Чернівці: Чернівецький нац. ун-т ім. Юрія Федьковича, 2020.
366. Гередчук, А. М., & Наконечна, Ю. Г. (2021). Розроблення рецептур безмолочного бланманже. Вилучено з <http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/10046>.
367. Ковбаса, А. В. (2021). Розроблення технології збивних цукерок типу нути на основі рослинних білків та морквяного пюре з її впровадженням на кондитерському підприємстві в м. Ніжин Чернігівської області. Вилучено з <https://dspace.nuft.edu.ua/jsui/bitstream/123456789/35475/1/Kovbasa%20A.V.pdf..>
368. Кондрашина, Л. А., Гурський, П. В., Ладика, В. І., Сметанська, І. М., Гринченко, О. О., Омельченко, С. Б., & Перцевой, Ф. В. (2023). Удосконалення технології напівфабрикату збивного борошняного з використанням желатину і ферменту трансглютаміназа.: монографія. В. І. Ладика (ред). Сум. нац. аграр. ун-т, Держ. біотехнол. ун-т, Ун-т приклад. наук Вайнштефан-Трисдорф. Харків.
369. Мишковська, В. Л. (2023). Розроблення технології десертів підвищеної харчової цінності для кафе сімейного типу. Вилучено з <https://dspace.nuft.edu.ua/jsui/handle/123456789/39290>.
370. Мряченко, Н. В., & Юрченко, С. Л. (2017). Дослідження впливу технологічних факторів на піноутворюючу здатність та стійкість піни системи «Пшеничний крохмаль-твін 20». *Технічні науки та технології*, (2 (8)), 209-218.
371. Наконечна, Ю. Г., & Циганко, Р. А. (2020). Розроблення технології морозива на натуральних стабілізаторах. Актуальні проблеми та перспективи розвитку харчових виробництв, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 45-річчю від дня заснування факультету ХТГРТБ. (с.18-20), 20-21 листопада, 2019. Полтава : ПУЕТ.
372. Никифоров, Р. П., Сімакова, О. О., Слащева, А. В., Назаренко, І. А., Попова, С. Ю., & Горяйнова, Ю. А. (2020). Інноваційні технології десертної продукції на основі білково-вуглеводного напівфабрикату: монографія. Кр Вивий Ріг: ДонНУЕТ,

373. Рудакова, Т. В., Мінорова, А. В., & Наріжний, С. А. (2019). Сучасні аспекти технології морозива із функціональними інгредієнтами. *Продовольчі ресурси*, 7(13), 147-171. Вилучено із <https://iprjournal.kyiv.ua/index.php/pr/article/view/89>.
374. Швайко, Р. В. (2022). Наукове обґрунтування використання текстуроформуєчих наповнювачів у технології сухої суміші для йогурту. Вилучено ³
https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/37910/1/181_Shvaiko_Roman_Vasulyovich_67_10174.pdf.
375. Dzyuba, N., Oliinyk, M., Kalugina, I., Poplavska, S., Bortnykov, Y., & Zakharova, S. (2023). IMPROVING THE TECHNOLOGY OF AERATION OF THE FOOD SYSTEM OF MOUSSE AT HORECA ENTERPRISES. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 122(11), 74-82.
376. Wu, S. D., Zhan, J. J., Lim, J. H., Lin, Y. C., & Yang, Y. L. (2019). Innovation gradient mousse material processing technology research. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 479 (1).. DOI 10.1088/1757-899X/479/1/012026.
377. Tsykhanovska, I., Evlash, V., Alexandrov, A., Khamitova, B., Svidlo, K., & Nechuiviter, O. (2019). Forming the structure of whipped desserts when introducing the food additive Magnetofood to their formulation. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, (2 (11)), 45-55.
378. Eghbaljoo H., Sani I. K., Sani M. A., Rahati S., Mansouri E., Molae-Aghae E., et al. (2022). Advances in plant gum polysaccharides; Sources, techno-functional properties, and applications in the food industry - a review. *Int. J. Biol. Macromol.* 222, 2327-2340. 10.1016/j.ijbiomac.2022.10.020.
379. Ramli, S. S., Nizar, N. N. A., Heng, J. Y., Karde, V., Abidin, S. A. S. Z., & Taib, M. N. (2023). Gelatin Substitute. *Innovation of Food Products in Halal Supply Chain Worldwide*, 87-98.
380. Пивоваров, П.П., Гринченко, О.О., Михайлов, В.М., Іванов, С. В.. & Коваленко, А. А (2011). Інноваційні технології виробництва харчової продукції масового споживання : монографія. Харк. держ. ун-т та торгівлі.
381. Гніщевич. В. А. & Васильєва О. О. (2015). Обґрунтування параметрів виробництва збивних десертів на основі напівфабрикату з топінамбура та кизилю. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 1 (73), 11-17.
382. Mriachenko, N.V., Iurchenko, S.L. & Cheremaska T.V. (2016). The substantiation of development of mousses technology using wheat starch. *Food Science and Technology*. 10 (4). 54-59. DOI 10.15673/fst.v10i4.255.
383. Oscar E. Perez, Cecilio Carrera Sanchez, Ana M.R. Pilisof Juan M. Rodriguez Patino (2015). Impact of hydroxypropylmethylcellulose on whey protein concentrate spread film at the air-water interface: Structural and surface dilatational characteristics. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. V/ 465, 1-10.

384. Golubeva, L.V., Pozhidaeva, Y.A., Popov, Y.S. & Golubeva, L.N. (2015). Optimization of blend composition of polycomponent dry mix for enriched soft ice cream. *Indian Journal of Science and Technology*. 8(29), 1-7.
385. Возненко, М.А., Бондаренко, І.І., Яценко, Б.О. & Неміріч О.В. (2016). Технологічні аспекти виготовлення збивної страви з порошком з топінамбуру. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*. Т.18, 2 (68), 32-36.
386. Бровенко, Т. (2016). Аналіз та перспективи розвитку світових гастрономічних трендів. *Продовольча індустрія АПК*. 1-2 (38), 10-13.
387. Ляхова А.В. & Мостова Л.М. (2012). Маркетингове дослідження ринку виробництва десертів з пінною структурою. Інтегральна роль науки та освіти у міжнародному розподілі праці: Збірник статей магістрів, аспірантів, молодих вчених. Ч.1, .321-326.
388. Степанова Т. М., Кондратюк Н. В. & Пивоваров Є. П. (2015). Вплив сахарози на структурно-механічні властивості системи на основі «напівфабрикату драгле утворюючого для желейних виробів. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 3/10 (75), 49-54.
389. Arboleya J.C., Garcia-Quiroga M., Lassa D., Olivia O. & Luis-Anduriz A. (2014). Effect of highly aerated food on expected satiety. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2, 14-21.
390. Гринченко, О. О., Пивоваров, П. П., Михайлов, В. М., Погожих, М. І., Янчева, М. О., Зайцев, А. В. & Гринченко Н. Г. (2010). Теоретичні та прикладні аспекти стабілізації харчових продуктів з гетерогенною структурою : монографія. Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі.
391. Ciurzynska A. & Lenart A. (2016). Effect of the aerated structure on selected properties of freeze-dried hydrocolloid gels. *International Agrophysics*. 30, 9-17.
392. Сабадош, Г. О. (2016). Вплив факторів на піноутворення в технології молочних десертів з використанням карагінану. *Вісник НТУ «ХП»*. 29 (1209), 49-54.
393. Плотнікова, Р.В., Гринченко, Н.Г., Пивоваров, П.П. & Гринченко О.О. (2015). Наукові та практичні основи виробництва десертної продукції на основі молочної та плодово-ягідної сировини : монографія. Харків : ХДУХТ.
394. Шкабура, С.С., Кобець, О. С., Арпуль, О. В. & Доценко, В. Ф. (2015). Дослідження впливу поверхнево-активних речовин на піноутворюючу здатність білка. *Актуальні задачі сучасних технологій: Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів (162-163)*. 25-26 листопада, 2015. Тернопіль.
395. Abu-Jdayil B., Mohameed, H.A. & Eassa, A. (2004). Rheology of wheat starch–milk–sugar systems: effect of starch concentration, sugar type and concentration, and milk fat content, *Journal of Food Engineering*. 64, 207-212.

396. Al-Malah, K.I., Azzam, M.O.J. & Abu-Jdayil B. (2000). Effect of glucose concentration on the rheological properties of wheat-starch dispersions, *Food Hydrocolloids*. 14, 491-496.
397. Azizi, M.H. & Rao, G.V. (2005). Effect of surfactant in pasting characteristics of various starches, *Food Hydrocolloids*. 19(4), 739-743.
398. Chungcharoen, A. & Lund, D.B. (1987). Influence of solutes and water on rice starch gelatinization, *Cereal Chem.* 64 (4), 240-243.
399. Fredriksson, H., Silverio, J., Andemon, R., Eliasson, A.C. & Aman, P. (1998). The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate Polymers*. 35, 119-134.
400. Ghiasi, K., Hosney, R.C. & Varriano-Marston, E. (1982). Gelatinization of wheat starch. I. Excess-water systems. *Cereal Chem.* 59 (2), 81-85.
401. Horalchuk, A.B., Pyvovarov, P.P., Hrynchenko, O.O., Pohozhykh. M.I., Polevych, V.V. & Hurskyi, P.V. (2006). Reolohichni metody doslidzhennia syrovyny i kharchovykh produktiv ta avtomatyzatsiia rozrakhunkiv reolohichnykh kharakterystyk, *Khark. derzh. un-t kharch. ta torhivli*, Kharkiv.
402. Krog, N. & Nybo-Jensen B. (1970). Interaction of monoglycerides in different physical states with amylose and their anti-firming effects in bread, *J. Food Technol.* 5, 77-87.
403. Shin, M.-Sh. (1991). Influence of water and surfactants on wheat starch gelatinization and retrogradation, *Korean J. Food Sci. Technol.* 23 (1), 116-120.
404. Мряченко, Н.В. & Юрченко, С.Л. (2016), Технологія мусів промислового виробництва. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. (46-572), 2016. Харків, ХДУХТ.
405. Тележенко, Л. М. & Паскал Ю. Г. (2009). Вплив швидкості і умов заморожування на динаміку фенольного комплексу десертів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. Вип. 36, Т. 2, 21-25.
406. UN, 2015. *Demographic Yearbook*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.
407. Piorr, A., Ravetz, J., 2011. *Peri-urbanisation in Europe: Towards European Policies to Sustain Urban Rural Futures*. University of Copenhagen: Academic Books Life Sciences Hrsg, Copenhagen.
408. Demin, M., Yatsenko, V., & Korotkova, T. (2023). Searching for answers why regional planning is the basis of urban planning activities in building Ukraine's development strategy. *Urban planning and territorial planning*, (82), 3–16. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.82.3-16>.

409. Marshall, A., 1920. Principles of Economics, eighth ed. Macmillan, London, p. 731. MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Universita e della Ricerca), 2013. Documento tecnico allegato all'Accordo di partenariato 2014-2020. Strategia nazionale per le Aree interne: definizione, obiettivi, strumenti e governance.
410. Getz, D., 1993. Planning for tourism business districts. *Ann. Tourism Res.* 20/3, 583e600.
411. Brasili, C., Fanfani, R., 2016. Agri-food districts: theory and evidence. In: Morgan, E. (Ed.), *The New European Rurality. Strategies for Small Firms.* Taylor & Francis, Abingdon.
412. Santagata, W., 2002. Cultural districts, property rights and sustainable economic growth. *Int. J. Urban Reg. Res.* <https://doi.org/10.1111/1468-2427.00360>.
413. Jeong, H.K., Kim, C.G., Jang, J.K., 2010. Analysis of organic agricultural farming organizations in large-scale environment-friendly agricultural districts with reference to organic farming cluster. *Korean Journal of Organic Agriculture* 18/3, 331e345.
414. Assiri M., Barone V., Silvestri F., Tassinari M., Planning sustainable development of local productive systems: A methodological approach for the analytical identification of Ecoregions, *Journal of Cleaner Production*, Volume 287, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125006>.
415. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of August 05, 2020 No. 695 "On Approval of the State Strategy for Regional Development for 2021-2027". [Electronic resource] - Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF#top>
416. Medeiros, E. (2022). Strategic-Based Regional Development: Towards a theory of everything for regional development?. *European Journal of Spatial Development*, 19(5), 1–26. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6805455>
417. Demin, M., Yatsenko, V., & Berova, P. (2023). On the issue of the current state of urban planning and regional activities in Ukraine. *Urban planning and territorial planning*, (83), 3–15. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.83.3-15>
418. Antrop, M., 2004. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landsc. Urban Plan.* 67 (1-4), 9–26.
419. Champion, T., 2001. Urbanization, suburbanisation, counterurbanisation and reurbanisation. In: Paddison, R. (Ed.), *Handbook of Urban Studies.* Sage, London, pp. 143–161.
420. Altes, W., 2009. Taxing land for urban containment: reflections on a Dutch debate. *Land Use Policy* 26, 233–241.
421. Caruso, G., Peeters, D., Cavailhes, J., Rounsevell, M., 2007. Spatial configurations in a periurban city. A cellular automata-based in microeconomic model. *Reg. Sci. Urban Econ.* 37, 542–567 (2007).

422. Secchi, B., 1993. L'importanza della forma, in Cinquant'anni di urbanistica in Italia.1942-1992, a cura di G. Campos Venuti e F. Oliva. Laterza, Roma-Bari, p. 349, 1993.
423. Cattivelli V., Planning peri-urban areas at regional level: The experience of Lombardy and Emilia-Romagna (Italy), *Land Use Policy*, Volume 103, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105282>.
424. Albrechts, L. (2010) How to enhance creativity, diversity and sustainability in spatial planning strategic planning revisited, in: M. Cerreta, G. Concilio, & V. Monno Eds *Making Strategies in Spatial Planning: Knowledge and Values*, pp. 3–25 (Dordrecht, the Netherlands: Springer Science + Business Media B.V).
425. Albrechts, L. (2004) Strategic (spatial) planning reexamined, *Environment and Planning B*, 31, pp. 743–758. doi: 10.1068/b3065.
426. Healey, P. (2009) In search of the “strategic” in spatial strategy making, *Planning Theory & Practice*, 10(4), pp. 439–457. doi: 10.1080/14649350903417191
427. Lai, S.-K. (2018) Why plans matter for cities, *Cities*, 73(2018), pp. 91–95. doi: 10.1016/j.cities.2017.10.014.
428. Mezentsev, K., Provotar, N., & Palchuk, M. (2020). Public spaces through the lens of participatory urban planning – the case of Kyiv. *Ukrainian Geographical Journal*, 2(110), 30-37. [In Ukrainian].
429. Pambudi, A. S. (2022). Balancing infrastructure, ecosystem conservation, and community approaches on integrated development planning of Citarum Watershed. *Indonesian Journal of Applied Environmental Studies*, 3(1), 34-41.
430. Topchiev, O. G., & Stefanovych, A. M. (2011). Territory planning as a component of the socio-economic development strategy of administrative and territorial units of the basic level and territorial communities. *Theoretical and Applied Issues of State-Building*, 8, 448-459. [In Ukrainian].
431. Melnychuk, A., Loshytska, V., Hnatiuk, S., Ohiichuk, N., Pisotska, K., & Baryshpol, S. (2022). The concept of integrated development of the territory of the territorial community as a tool of strategic management. *Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya / Економічна та соціальна географія*, 87, 61–71, <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2022.87.61-71>.
432. Wright B. Evaluation of Full Scale Data for Moored Vessel Stationkeeping in Pack Ice. The National Research Council of Canada. Tech. rep. PERD/CHC Report 26-200. Ottawa, 1999. 275 p.
433. Hebb D. *The Organization of Behavior*. New York: Taylor and Francis 1949. 378p.
434. McCulloch W., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*.1943. V.7. pp. 115—133.

435. Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines*. [S. l.]: Pearson Education, Limited, 2009. 937 p.
436. Васильев В. И. *Распознающие системы*. Киев: Наукова думка, 1988. 422 с.
437. Caudill M. *Neural Networks Prime*. CA: Miller Freeman Publications, 1989. 352p.
438. Domany E., J. L. van Hemmen, Schulten K. *Models of Neural Networks*. NY: Springer-Verlag, 1995. 371p.
439. Scott JR. A sea spectrum for model test and long-term ship prediction. *J Ship Res.* 1965. Vol.9. P.145—152.
440. Deo MC., Narasimhan S. Spectral analysis of waves – a study. In: *Proceedings of the ASCE conference on civil engineering in ocean-IV: (San Fransisco, 1979)*. San Fransisco, 1979. Vol. 2. P. 877—892.
441. Hamilton J., Blunt J., Mitchell D., and Kokkinis T. Ice Management for Support of Arctic Floating Operations. *Arctic Tehcnology Conference OTC paper*. (Houston, 7—9 Feb. 2011). Houston, 2011. P. 615—626.
442. Galushkin A.I. *Neural Networks Theory*. Berlin, 2007. 402 p.
443. Coolen A.C.C., Kühn R., Sollich P. *Theory of Neural Information Processing Systems*. Oxford University Press. 2006. 586p.
444. Hong Lin, Yang Lei. A hybrid neural network model for sea ice thickness forecasting. *Journal of Hydrology*. 2009. Vol. 375. P. 450—458.
445. Gallant S. *Neural Network Learning and Expert Systems / S. Gallant – Loindon*, 1993. 371p.
446. Moller M. A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning, *Neural Networks*. Pergamon Press Ltd. 1993. Vol. 6, № 4. P. 525—533.
447. Заец А. Ю. Крамарь В. А. Гарантоспособность океанотехнических систем. *Науково-технічний журнал Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2014. №6 (70). С.7—11.
448. Душко В. Р., Лопатнёва А. Ю. Анализ условий ледовой обстановки Азово-Черноморского бассейна. *Збірник наукових праць НУК. Електр. видання*. 2013. №1. С.44—46.
449. Лопатнёва А.Ю. Применение спутниковой информации в прогнозировании толщины льда с применением нейронной сети. *Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми в океанотеніці»*. 2013. С. 32—34.
450. Заец А.Ю. Расчет ледовых нагрузок с использованием нейросетевых технологий для условий Азово-Черноморского бассейна. *Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю*. 2015. С.52—55.

451. Mohamed A. El-Reedy *Offshore Structures: Design, Construction and Maintenance*, Second Edition: text. Houston, Texas, USA: Gulf Professional Publishing, 2019. 690 p.
452. Bekker A. T. Croasdale K. R., Truskov P. A. Ice load on fixed and floating structure. *Proc. Sea Ice Mechanics and Arctic Modeling Workshop*. 1995. V.2. P.60—78.
453. Кушнир В. М., Душко В. Р., Федоров С. В. *Воздействие морской среды на системы освоения шельфа*. Севастополь, 2009. 303с.
454. ISO 19906:2010. *Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures*. Geneva, 2010. 474p.
455. Eranti Esa. *Dinamic ice structure interection. Theory and applications*. Espoo, 1992. 82 p.
456. Hirdaris S.E., Bai W., Dessi D., Ergin A., Gue X., Hermundstad O.A., Huijsmansg R., Iijima K., Nielsen U.D., Parunov J., Fonseca N., Papanikolaou A., Argyriadism K., Incecik A.. *Loads for use in the design of ships and offshore structures*. *Ocean Engineering*. 2014. Vol. 78. P.131–174
457. Заєць А. Ю. *Удосконалення методики розрахунку льодових навантажень на бурові платформи для Азово-Чорноморського басейну: дис. канд. техн. наук: 05.08.03*. Одеса, 2018. 162 с.
458. Ralston T.D. Plastic limit analysis of sheet ice loads on conical structures. In TRYDE, P. (ed.), *Physics and Mechanics of Ice*, International Union of Theoretical & Applied Mechanics, Symp. Copenhagen, 1979. P. 289-308.
459. Croasdale K.R. Ice forces on fixed, rigid structures. A State-of-the-Art Report, Int. Association for Hydraulic Research, Section on ice problems: In CRREL Special Report 80-26, Working Group on ice forces on structures. Hanover, 1980. – pp. 34—103.
460. Croasdale K. R., Cammaert A. B., Metge M. A. Method for the Calculation of Sheet Ice Loads on Sloping Structures. *Proc. IAHR 12th Int. Symp. on Ice*, Norwegian Institute of Technology. (Trondheim, 23—26 Aug.1994). Trondheim, 1994. Vol. 2. P. 874—875.
461. Ralston. T. D. Ice Force Design Considerations For Conical Offshore Structures. *International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions*. (Newfoundland, 26—30 Sept. 1977). Newfoundland, 1977. Vol. II. P. 741–752.
462. Croasdale K., Cammaert A. An Improved Method for the Calculation of Ice Loads on Sloping Structures in First-year Ice. *Hydrotechnical Construction*. 1994. Vol. 28. No. 3. P. 161—168.
463. Goldstein R. V., Onishchenko D. A., Denisov V. V., Shatinsky D. L. Refined bending failure model for level ice acting on an inclined obstacle. *Proc. 18th POAC*. (Potsdam, 26—30 June, 2005). Vol. 1. P. 199—212.

464. Sodhi D.S., Harnza F. Buckling Analysis Of A Semi-infinite Ice Sheet. Proceedings of the POAC Conference. (Newfoundland, 26—30 Sept. 1977) Newfoundland, 1977. Vol. VI. P. 651—665.
465. Nevel D.E. Ice Force on Cones from Floes. Proceeding of the IAHR Symposium of Ice. (Banff, 15—19 June, 1992). Banff, 1992. P. 1391—1404.
466. Brown T. G., Määttä M. Comparison of Kemi I and Confederation bridge cone ice loads measurement results. Proceedings of the IAHR Conference. (Singapore, 6—8 Aug. 2002). Singapore, 2002. P. 503—512.
467. ANSI/API recommended practice 2N (third edition). Planning Designing, and Constructing Structures and Pipelines for Arctic Conditions. Washington, DC, 2015. 472p.
468. Кушнир В.М. Оптимизация конструктивных параметров ледостойких буровых платформ для Азовского моря. «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зоны и комплексное использование ресурсов шельфа»: Сб. науч. Трудов. 2002 г. С. 254 – 256.
469. Анализ и обоснование оптимальных характеристик буровых платформ и магистральных трубопроводов в шельфовых зонах азово-черноморского бассейна: отчет по разделу проекта «Ресурсы шельфа» целевой научной программы «Научные основы наращивания минерально-сырьевой базы Украины». Морской гидрофизический институт НАН Украины; рук. В. М. Кушнир. Севастополь, 2002. 96с. № ГР 0102U001482.
470. CSA Standard. S471-04. General requirements, design criteria, the environment, and load. Canadian Standards Association. Ottawa, 2004. 74 p.
471. Barabash O. Yu., Taranenko L. K., Sych Z. D. Biological basics of vegetable growing. K.: Aristei, 2005. 347 p.
472. Bolotskikh A.S. Kapusta . Kharkiv: Folio, 2002. 320 p.
473. 1)G.C.Biswal¹, S.P.Shukla², “Site Selection for Wind Farm Installation”, INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH IN ELECTRICAL, ELECTRONICS, INSTRUMENTATION AND CONTROL ENGINEERING Vol. 3, Issue 8, August 2015.
474. Rahul Chitteth Ramachandran , Cian Desmond , Frances Judge, Jorrit-Jan Serraris , and Jimmy Murphy, “Floating offshore wind turbines: Installation, operation, maintenance and decommissioning challenges and opportunities”, European Academy of wind energy, <https://doi.org/10.5194/wes-2021-120>.
475. J.A. Voormolen, H.M. Junginger, W.G.J.H.M. van Sark, “Unravelling historical cost developments of offshore wind energy in Europe”, ScienceDirec, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.047>
476. https://en.wikipedia.org/wiki/Offshore_wind_power

477. Giorgio Corbetta (The European Wind Energy Association, EWEA), Iván Pineda (EWEA) Jacopo Moccia (EWEA), "The European offshore wind industry - key trends and statistics 2013
478. Elisabeth Beauchamp, Lora Novak, "Onshore vs Offshore Wind Power", today's homeowner with Danny Lipford
479. Liz Hartman, "Wind Turbines: the Bigger, the Better", ENERGY.GOV
480. Shaheen, B.W.; Németh, I., "Performance Monitoring of Wind Turbines Gearbox Utilising Artificial Neural Networks-Steps toward Successful Implementation of Predictive Maintenance Strategy", ResearchGate, <https://doi.org/10.3390/pr11010269>
481. Souma Chowdhury , Jie Zhang , Achille Messac , Luciano Castillo, "Optimizing the arrangement and the selection of turbines for wind farms subject to varying wind conditions", ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.017>
482. Betz's law - Wikipedia
483. 11)Wind turbine - Wikipedia
484. Gregor Giebel, C. B. Hasager, "An Overview of Offshore Wind Farm Design", ResearchGate, DOI:10.1007/978-3-319-39095-6_19
485. Matthias Stammler, Fabian Schwack, Norbert Bader, Andreas Reuter, Gerhard Poll, "Friction torque of wind-turbine pitch bearings - comparison of experimental results with available models", european academy of energy, doi:10.5194/wes-2017-20, 2017
486. Fabian Schwack, Matthias Stammler, Arne Bartschat, Florian Pape, Gerhard Poll, "Solutions to reduce wear in wind turbine blade bearings", ResearchGate
487. Ravi Kumar Pandit, David Infield, James Carroll, " Incorporating air density into a Gaussian process wind turbine power cure model for improving fitting accuracy", Wiley online library, <https://doi.org/10.1002/we.2285>
488. Zhiyu Jiang, "Installation of offshore wind turbines: A technical review", ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110576>
489. Robert Brijder, Catalina H. Musinoi Hagen, Ainhoa Cortés, Andoni Irizar, Upeksha Chaturani, Stijn Helsen , Sandra Vasquez, Agusmian Partogi Ompusunggu, "Review of corrosion monitoring and prognostics in offshore wind turbine structures: Current status and feasible approaches", Frontiers, <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.991343>
490. Rita Bacelar Figueira, "Corrosion Protection Systems and Fatigue Corrosion in Offshore Wind Structures: Current Status and Future Perspectives", ResearchGate, DOI:10.3390/coatings7020025
491. Dimitrios Kalovelonis, "Corrosion of Wind Turbines", ResearchGate, (PDF) Corrosion of Wind Turbines (researchgate.net)

492. Takeshi Ishihara, "Prediction of wave-induced tower loading of floating offshore wind turbine systems", ResearchGate, ISBN 978-1-880653-99-9 (Set); ISSN 1098-6189 (Set)
493. Cherif Khelifi and Fateh Ferroudji, "Output wind power curve optimization based on design wind speed concept", Sage Journals: Wind Engineering, <https://doi.org/10.1177/0309524X19901005>
494. S. C. Gupta and R. K. Nema, "A Critical Review on Wind Turbine Power Curve Modelling Techniques and Their Applications in Wind Based Energy Systems", Hindawi, <https://doi.org/10.1155/2016/8519785>
495. Suad Hassan Danook , Khamis Joir Jassim , Adnan Mohammed Hussein , "The impact of humidity on performance of wind turbine", ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100456>
496. Miguel Á. Rodríguez-López, Pablo Del Rio, Emilio Cerdá, "Modeling Wind-Turbine Power Curves: Effects of Environmental Temperature on Wind Energy Generation", ResearchGate, DOI:10.3390/en13184941
497. Md Rabiul Awal, Muzammil Jusoh, md nazmus Sakib, Fakir Sharif Hossain, "Design and implementation of Vehicle Mounted Wind Turbine", ResearchGate
498. Jo Adetunji, "How do floating wind turbines work? 5 companies just won the first US leases for building them off California's coast", The Conversation
499. Matthew Lackner, "How do floating wind turbines work? 5 companies just won the first US leases for building them off California's coast", The Conversation
500. J. Jonkman, S. Butterfield, W. Musial, and G. Scott, "Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development", National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-500-38060
501. The American Geosciences Institute, What are the advantages and disadvantages of offshore wind farms? | American Geosciences Institute
502. Olivia Bolt, "3 Pros and Cons of Offshore Wind Farms", Energy Theory
503. Jack Dreyer, "The Benefits and Drawbacks of Offshore Wind Farms", Submitted as coursework for PH240, Stanford University, Fall 2017
504. Soumya Ranjan Panda, Kunal Dash, Reetesh Ranjan, Abhinash Bhoi, Jayadev Das: "Design of a bladeless wind turbine", International Journal of Scientific Development and Research, Volume 2, Issue 4, April 2017 , ISSN: 2455-2631
505. Ahmed M Elsayed and Mohamed B Farghaly: "Theoretical and numerical analysis of vortex bladeless wind turbines", Wind engineering, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Fayoum University, Fayoum, Egypt , DOI:10.1177/0309524X221080468

506. Balakrishnan S P1, Arun R2, Vinoth Babu N3: “Design, Analysis and Prototype of Vortex Bladeless Wind Turbine”, International Research Journal of Engineering and Technology, Volume 6, Issue 3, Mar 2019, e-ISSN: 2395-0056 p-ISSN: 2395-0072
507. Issam Bahadur: “Dynamic Modeling and investigation of a Tunable Vortex Bladeless Wind Turbine” MDPI, Volume 15, Issue 18, Sep 2022, DOI:10.3390/en15186773
508. Adel Younis, Zuomin Dong, Mohamed ElBadawy, Abeer AlAnazi, Hayder Salem, Abdullah AlAwadhi: “Design and development of Bladeless Vibration-based piezoelectric energy-harvesting wind turbine”, Department of ME Australian University, Department of ME University of Victoria, MDPI, Volume 12, Issue 15, Aug 2022, DOI:10.3390/app12157769
509. R Tandel, S Shah, S Tripathi: “A state-of-art review on Bladeless Wind Turbine”, ICMAI, Conference series Volume 1950, Feb 2021, DOI:10.1088/1742-6596/1950/1/012058
510. Abhishek Pawar, Vishal Paunikar, Swapnil Sawai, Raushan Singh, S.P.Lokhande: “Review paper on Bladeless Wind Turbine”,JETIR, Volume 9,Issue 5, page no.j692-j695, May 2022
511. Akshay Agrawal, Aditya Sheth, Prof.Ankit Dandiwala, Prof.Subhasis Sarkar: “Research paper on bladeless windmills based on the principle of vibration”, ME department of Babaria Institute of Technology, IJSR, Volume 6, Issue 5, May 2017
512. Vishal A Paunikar, Abhishek H Pawar, Swapnil L Sawai, Tanay N Jickar, Sanket M Koche, Asst. Prof. Satish P Lokhande: “Study and analysis on bladeless wind turbine”, ME Department Priyadarshini College of Engineering, IRJET, Volume 9, Issue 5, May 2022
513. A.Chizfahm, E.Azadi Yazdi, M.Eghtesad: “Dynamic modeling of vortex induced vibration wind turbines”,ScienceDirect, Volume 121, June 2018
514. Emily Newton: “How a Bladeless Wind Turbine Works”, North American Clean Energy