



THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL, AGRICULTURAL AND APPLIED SCIENCES AS THE MAIN FACTOR IN IMPROVING LIFE

Collective monograph

ISBN 979-8-89292-730-7

DOI 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2

BOSTON(USA)-2024

ISBN – 979-8-89292-730-7

DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2

*The development of technical,
agricultural and applied sciences
as the main factor in improving
life*

Collective monograph

Boston 2024

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – 979-8-89292-730-7

DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2

Authors – Trembitska O., Zhuravel S., Stoliar S., Bilotserkivska L., Vasylenko O., Demchyna K., Lemeshev M., Bereziuk O., Cherepakha D., Mudra A., Hnat H., Ситник Р., Баб'як В., Podchashynskyi Y., Cheriuk L., Luhovykh O., Omelchuk I., Mysak I., Obodovych O., Chalaev J., Pereiaslavl'tseva O., Rezakova T., Stepanova O., Perov M., Makarov V., Kaplin M., Bilan T., Shcherbyna Y., Бударін В., Нікульшин В., Денисова А., Андрющенко А., Височин В., Лавриць В.Ю., Дворна А.В., Andrushchak I., Пукач П., Шаховська Н., Бурцев В., Воронін В., Бурцева В., Печкін А., Третяк В., Кашкевич С.О., Дмитрієва О.І., Троцько О.О., Шкнай О.В., Шишацький А.В., Сімбірський Г., Haiduchok O., Kanunnikova N., Sakun A., Tomashevskyi R., Vorobiov V., Rochapska I., Нечипоренко В., Сало В., Горбунов А., Раківненко В., Черніченко Ю., Колісник А., Гайдайчук В.В., Котенко К.Е., Клименко М.О., Кухар В., Кустіков В., Малій Х.

REVIEWER

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

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

Published by Primedia eLaunch

<https://primediaelaunch.com/>

Text Copyright © 2024 by the International Science Group(isg-konf.com) and authors.

Illustrations © 2024 by the International Science Group and authors.

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

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

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

THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL, AGRICULTURAL AND APPLIED SCIENCES AS
THE MAIN FACTOR IN IMPROVING LIFE

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:

The development of technical, agricultural and applied sciences as the main factor in improving life: collective monograph / Trembitska O., Zhuravel S., Stoliar S., Bilotserkivska L. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2024. 354 p. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2

TABLE OF CONTENTS

| | | |
|-------------------------------|---|----|
| 1. AGRONOMY | | |
| 1.1 | <p>Trembitska O.¹, Zhuravel S.¹, Stoliar S.², Bilotserkivska L.³</p> <p>EVALUATION OF ELEMENTS EFFICIENCY OF WINTER RYE CULTIVATION TECHNOLOGY IN THE CONDITIONS OF ZHYTOMYR POLISSIA</p> <p>¹ Department of Soil Science and Agriculture, Polissia National University, Ukraine ² Department of Technologies in Crop Production, Polissia National University, Ukraine ³ Teacher of the Novochortorii Technological and Economic College, Ukraine</p> | 9 |
| 1.2 | <p>Vasylenko O.¹</p> <p>IMPROVEMENT OF SUGAR BEET STORAGE TECHNOLOGY WITH THE DEVELOPMENT OF KAGATU VENTILATION MODES</p> <p>¹ Department of Occupation safety and physics , Sumy national agrarian university , Sumy , Ukraine</p> | 32 |
| 2. ARCHITECTURE, CONSTRUCTION | | |
| 2.1 | <p>Demchyna K.¹</p> <p>PRESERVATION AND RESTORATION OF THE WOODEN CHURCH, WHICH IS A SPIRITUAL, HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE</p> <p>¹ Lviv Polytechnic National University</p> | 42 |
| 2.2 | <p>Lemeshev M.¹, Bereziuk O.², Cherepakha D.¹</p> <p>COMPOSITE RADIATION-SHIELDING CONCRETE FOR SPECIAL PURPOSES</p> <p>¹ Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Ukraine ² Department Security of Life and Pedagogic of Security, Vinnytsia National Technical University, Ukraine</p> | 52 |
| 2.3 | <p>Mudra A.¹, Hnat H.¹</p> <p>FACTORS IN THE FORMATION OF LANDSCAPING ELEMENTS IN AN URBAN MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL ENVIRONMENT</p> <p>¹ Institute of Architecture and Design, Lviv Polytechnic National University</p> | 61 |
| 2.4 | <p>Ситник Р.¹, Гнат Г.¹, Баб'як В.¹</p> <p>ПІДТРИМУЮЧЕ ЖИТЛО У ЖИТЛОВІЙ ПОЛІТИЦІ КРАЇН ЄС ТА США І ЙОГО ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ</p> <p>¹ Інститут Архітектури та Дизайну, Національний університет "Львівська Політехніка"</p> | 72 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3. | DEVICES | |
| 3.1 | Podchashynskyi Y. ¹ , Chepiuk L. ¹ , Luhovykh O. ¹ , Omelchuk I. ¹ DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CALIBRATION OF PRESSURE MEASURING INSTRUMENTS ¹ Department of Metrology and Information and Measuring Technology, Zhytomyr Polytechnic State University | 82 |
| 3.1.1 | AREA OF APPLICATION | 82 |
| 3.1.2 | CALIBRATION MEANS | 83 |
| 3.1.3 | CALIBRATION CONDITIONS | 84 |
| 3.1.4 | SAFETY REQUIREMENTS FOR CALIBRATION | 84 |
| 3.1.5 | PREPARING FOR CALIBRATION | 85 |
| 3.1.6 | DESCRIPTION OF THE CALIBRATION PROCEDURE | 87 |
| 3.1.6.1 | DESCRIPTION OF THE CALIBRATION PROCEDURE FOR PRESSURE METERS AND VACUUM METERS | 87 |
| 3.1.6.2 | ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY DURING CALIBRATION OF PRESSURE METER AND VACUUM METER. MODEL EQUATION | 89 |
| 3.1.7 | DESCRIPTION OF THE PROCEDURE FOR CALIBRATION OF BAROMETERS | 90 |
| 4. | ENERGY | |
| 4.1 | Mysak I. ¹ GENERAL OVERVIEW OF THE EU GAS MARKET ¹ Department of Hydraulic and Water Engineering, Lviv Polytechnic National University, Ukraine | 95 |
| 4.2 | Mysak I. ¹ MAIN PROSPECTS OF THE LNG GAS MARKET ¹ Department of Hydraulic and Water Engineering, Lviv Polytechnic National University, Ukraine | 106 |
| 4.3 | Obodovych O. ¹ , Chalaev J. ¹ , Pereiaslavl'tseva O. ¹ , Rezakova T. ¹ , Stepanova O. ¹ PROSPECTIVE DIRECTIONS OF THE USE OF GEOTHERMAL RESOURCES IN UKRAINE ¹ Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine | 117 |
| 4.4 | Perov M. ¹ , Makarov V. ¹ , Kaplin M. ¹ , Bilan T. ¹ , Shcherbyna Y. ¹ DIRECTIONS OF MODERNIZATION OF THE COAL PROCESSING INDUSTRY OF UKRAINE ON THE BASIS OF ADVANCED COAL ENRICHMENT TECHNOLOGIES ¹ General Energy Institute of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine | 127 |

| | | |
|--|---|-----|
| 4.5 | Бударін В. ¹ , Нікульшин В. ¹ , Денисова А. ¹ , Андрющенко А. ¹ , Височин В. ¹ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ ¹ Theoretical, general and nonconventional power engineering department, Notational University «Odesa Polytechnic», Odesa, Ukraine | 136 |
| 5. FORESTRY | | |
| 5.1 | Лаврись В.Ю. ¹ , Дворна А.В. ¹ ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИНИКНЕННЯ ОСЕРЕДКІВ ШКІДНИКІВ НА ЗАЛІСНЕНІЙ ТЕРИТОРІЇ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ¹ кафедра лісового та садово-паркового господарства Херсонський державний аграрно- економічний університет, Україна | 145 |
| 6. INFORMATICS AND CYBERNETICS | | |
| 6.1 | Andrushchak I. ¹ DEVELOPMENT OF MODERN CRYPTOGRAPHIC INFORMATION PROTECTION METHODS AND TECHNIQUES ¹ Lutsk National Technical University | 156 |
| 6.2 | Пукач П. ¹ , Шаховська Н. ¹ ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ПОЯСНЮВАЛЬНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ¹ Кафедра систем штучного інтелекту, Національний університет «Львівська політехніка» | 165 |
| 7. INFORMATICS, COMPUTING AND AUTOMATION | | |
| 7.1 | Бурцев В. ¹ , Воронін В. ¹ , Бурцева В. ² , Печкін А. ¹ , Третяк В. ¹ МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА БОЄГОТОВНОСТІ НАЗЕМНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМ ЗЕНІТНОГО ОЗБРОЄННЯ ТА ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ ¹ Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків ² Метрологічний центр військових еталонів, Харків | 182 |
| 7.2 | Кашкевич С.О. ¹ , Дмитрієва О.І. ² , Троцько О.О. ³ , Шкнай О.В. ⁴ , Шишацький А.В. ¹ МЕТОД САМООРГАНІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ВПЛИВІВ ¹ Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна ² Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна ³ Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна ⁴ Науково-дослідний інститут військової розвідки, м. Київ, Україна | 192 |

| | | |
|----------------------------------|--|-----|
| 7.2.1 | КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ | 192 |
| 7.2.2 | МЕТОД САМООРГАНІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ВПЛИВІВ | 202 |
| 7.3 | Симбірський Г. ¹ ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ¹ Кафедра інженерії програмного забезпечення, факультет програмної інженерії та бізнесу, Харківський національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна | 219 |
| 8. LIFE SAFETY | | |
| 8.1 | Haiduchok O. ¹ , Kanunnikova N. ² , Sakun A. ³ , Tomashevskyi R. ⁴ , Vorobiov B. ⁵ PROSPECTIVE TECHNOLOGIES OF WATER PURIFICATION AND DISINFECTION FOR SAFE HUMAN CONSUMPTION ¹ Department of Water and Wastewater Engineering, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv ² Department of Micro- and nanoelectronics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» ³ Department of Chemical Engineering and Environment Protection, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» ⁴ Department of Industrial and Biomedical Electronics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» ⁵ Department of Automated Electromechanics Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» | 230 |
| 8.1.1.1 | TECHNOLOGIES OF MICRO- AND ULTRAFILTRATION FOR OBTAINING WATER OF DRINKING QUALITY | 231 |
| 8.1.1.2 | REVERSE OSMOSIS TECHNOLOGY | 239 |
| 8.1.1.3 | "FILTRATION-OZONATION-UV-RADIATION" TECHNOLOGY | 244 |
| 8.2 | Pochapska I. ¹ USAGE OF MULTIMEDIA TOOLS IN TEACHING SAFETY DISCIPLINES ¹ Department of Civil Safety, Lviv Polytechnic National University | 252 |
| 9. MECHANICAL ENGINEERING | | |
| 9.1 | Нечипоренко В. ¹ КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОСАДКИ З НАТЯГОМ У СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ¹ Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна | 262 |

| | | |
|------|---|-----|
| 9.2 | Сало В. ¹ , Горбунов А. ¹ , Раківненко В. ¹ , Черніченко Ю. ¹ , Колісник А. ² ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРУЖНИХ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ВАРІАЦІЙНОГО RVR-МЕТОДУ ¹ Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна ² Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна | 273 |
| 10. | MECHANICS | |
| 10.1 | Гайдайчук В.В. ¹ , Котенко К.Е. ¹ , Клименко М.О. ² ВПЛИВ ПРУЖНОГО ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ДИНАМІЧНУ ПОВЕДІНКУ ТРИШАРОВИХ НЕОДНОРІДНИХ КОНІЧНИХ ОБОЛОНОК ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ ¹ Кафедра теоретичної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна ² Кафедра машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна | 290 |
| 11. | METALLURGY | |
| 11.1 | Кухар В. ¹ , Кустіков В. ¹ , Малій Х. ¹ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ЕВРИСТИКИ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ ЗНОШУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РЕМОНТІВ ФУТЕРІВКИ ІНДУКЦІЙНОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ ¹ Кафедра металургії, матеріалознавства та організації виробництва, ТОВ “ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»”, м. Запоріжжя, Україна | 305 |
| | REFERENCES | 320 |

SECTION 1. AGRONOMY

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.1.1

1.1 Evaluation of elements efficiency of winter rye cultivation technology in the conditions of Zhytomyr Polissia

In the Polissia region, on acidic, low-fertile, light gray forest soils, it is advisable to allocate the main areas to winter rye, which provides a higher yield of high-quality grain compared to winter wheat, whose share should not exceed 70 %. It is the best of all cereals, adapted to the growing conditions in Polissia.

Assessing the overall state of grain farming development, it should be noted that its dynamics is unstable. Undoubtedly, the difference in gross grain harvest in certain years is due to both unfavorable climatic conditions and low technological support for grain crops. Therefore, increasing their yields requires significant costs and efforts from scientific institutions and producers, including the use of modern machinery, fertilizers, plant protection products, reduction of the costly mechanism of their cultivation, and advanced resource-saving technologies.

At present, the reduction of sown areas under rye, especially in the current conditions, is not justified, as it is one of the reserves for improving the structure of sown areas among cereals and increasing gross grain harvest through the introduction of new varieties and hybrids. Nature has endowed winter rye with a number of distinctive qualities: it has high consumer value and versatility of use, and can generously recoup costs even in unfavorable soil and climatic conditions. Winter rye is the second most important crop in our country after wheat. Winter rye holds one of the leading positions in the grain balance of Ukraine. Rye is better adapted to soils with low natural fertility than other crops. The biological characteristics of this crop are such that it uses soil moisture better than spring cereals in autumn and early spring, and is less affected by summer drought. Therefore, rye can serve as a crop in many regions of Ukraine.

However, the spread of mycoses in winter rye crops has a significant impact on grain yield and quality. Brown rust can cause a significant reduction in grain yield and

quality, but the presence of infection does not always lead to yield loss or an economic response to fungicide use.

The phytosanitary situation in the agrocenosis is formed depending on many factors: meteorological conditions of the growing season, level of agricultural technology, crop rotation, sowing qualities of seeds, genetic characteristics of cultivated varieties, etc. Thus, the increased use of minimal, zero-till technologies, with less varietal diversity, contributed to the accumulation of an infectious background, increased the prevalence and harmfulness of particularly dangerous diseases, a complex of aerogenic infections. It is known that at high intensity of plant leaf damage, pathogens can significantly reduce their assimilation capacity and, accordingly, crop yields. Thus, epiphytic development of infections can lead to liquefaction and complete death of crops. All of this necessitates the study and analysis of the main aspects of the use of modern plant protection products. Timely diagnosis of diseases and analysis of their dynamics help to increase the effectiveness of protective measures.

Therefore, the *purpose* of the research was to study the effects of plant growth regulators and fungicides on winter rye to select the most effective preparations that improve the phytosanitary condition of crops and increase crop productivity.

The experiment was conducted using both laboratory and field methods. The technology of winter rye cultivation was generally accepted for the Polissya zone, only the element of the protection system differed. Accounting of brown rust damage was carried out in accordance with accepted methods. The economic and mathematical method was used to calculate economic efficiency. Statistical processing was carried out using computer programs.

Rye is a versatile crop. However, its main use is for food. Due to its balanced nutritional content, rye bread has been providing adequate nutrition for the population of vast areas of the country for several centuries. Rye bread made from wholemeal flour with sourdough starter cultures was not only a food product, but also a permanent powerful preventive measure against obesity, atherosclerosis, coronary artery disease, nervous and even cancer. Natural rye bread protected the offspring, and thus the health of the entire nation [1, 2].

Most rye grain is used for fodder purposes. The presence of anti-nutrients in rye grain limits its use in livestock and poultry feeding, but various grain processing methods (extrusion, fermentation, flattening, canning, etc.) allow up to 70 % of the total amount of concentrates to be used in animal feeding. Scientific studies have shown the positive value of winter rye in feeding, but also in reproduction of cattle herds [3].

In the spring, rye produces green mass earlier than other crops, which can be used for feeding all types of livestock and poultry, for laying haylage and early silage, and for making highly nutritious grass flour and pellets. Mixed crops of winter rye with winter vetch are promising for producing high-quality bulky fodder and grain fodder [4].

In addition to food and feed, winter rye grain is valuable as a technical raw material for starch and alcohol production.

High adaptability, stable grain yields, and agrotechnical importance as a good precursor, combined with its traditional use in rye bread, fodder production, and production of starch, alcohol, and other products, make rye one of the most important crops. Among cereals, it has the lowest requirements for soil fertility, fertilizers, herbicides, and pesticides, which means it produces environmentally friendly and cheap grain [5].

However, we can observe that globally and in Ukraine, there is a decline in winter rye acreage. The decrease in the area in the northern regions, where rye is the most adapted crop to the difficult farming conditions, is particularly alarming. Due to its high winter hardiness and drought tolerance, low requirements for cultivation intensity, rye is rightfully considered a low economic risk crop that grows successfully on low-fertility sod-podzolic acidic soils, the share of which is more than 70% in the European northeastern part of the country alone [4].

Scientific institutions have created highly productive varieties of winter rye for specific growing conditions, developed zonal technologies for their cultivation, and accumulated many years of experience in successfully growing this crop [6].

A promising resource-saving technology is recommended for rye grain producing regions, especially for northern agriculture, and is based on the following principles: use of adaptive varieties; placement according to recommended predecessors; scientifically based soil cultivation system; rational use of mineral fertilizers; timely sowing and plant care; integrated plant protection system against pests, diseases and weeds; harvesting at the optimum time, proper grain processing and storage.

The feasibility of growing winter rye using resource-saving technologies is determined by the possibility of obtaining a grain yield in production conditions of at least 3.0–4.4 t/ha [7].

Maintaining consistently high grain yields is largely facilitated by the resistance of varieties to diseases. Breeding of short-stemmed rye has significantly exacerbated this problem and led to a sharp increase in harmful diseases. In this regard, the development of winter rye varieties resistant to dangerous pathogens is an important area of breeding work [8].

The phytopathogen usually overwinters on rye in urediniomycetes. At the same time, urediniospores remain viable. Thus, the fungus can develop in an incomplete cycle. In this case, only the urediniostage develops. Other stages are not essential in the development of the fungus. With the massive formation of urediniospores, neither teliospores nor eciospores play a significant role in the development cycle of the phytopathogen, since the main source of spring renewal of brown rust is winter rye crops infected with urediniospores and urediniomycelium in the fall [9].



Fig. 1.1. Affected leaves of winter rye with brown leaf rust, 2023

The pathogen multiplies in a wide temperature range. For the formation of epiphytosis, the phytopathogen primarily requires heat. Days with active solar radiation at a temperature of $+20^{\circ}\text{C}$ – $+26^{\circ}\text{C}$ in combination with warm nights (optimally $+15^{\circ}\text{C}$), precipitation or dew in the evening (moistening of plants for at least four hours in a row) contribute to the development of the infection [10].

A dangerous surge in reproduction usually occurs in the fall after heading. Winter crops can be infected in the fall with mycelium and spores. In spring, urediniospores can be transported over long distances by air currents [6]. A large number of infected plants with successfully overwintered urediniomycelium at warm temperatures in spring and autumn can cause active development of the disease, especially in rye varieties that are not resistant to the phytopathogen.

In addition, early sowing, unreasonably high doses of nitrogen fertilizers, the presence of massive shoots of carrion, the presence of intermediate host plants, and the presence of brown leaf rust epiphytosis last year contribute to the development of the disease [3].

Symptoms of the lesion External signs appear on the leaves and leaf sheaths in the form of subepidermal, rusty-brown uredosorus. Later, the tissues darken due to the formation of teleutosorus in them. In contrast to stem rust, the teleutosoruses of brown rust are closed. Usually the sori are scattered on the upper side of the leaf and very

rarely on the lower side. In resistant varieties, chlorotic spotting appears near the sorus, while in immune varieties the spots remain sterile. The disease develops throughout the growing season, but most often in the period from ear emergence to maturation. In case of severe damage, a burn appears on the crops. Damage to the top leaf has a particularly negative effect on the yield. Plants remain stunted and form smaller ears. The grain is small, light, and powdery at the break [5].

Factors contributing to the development of the disease [11]:

- high humidity and temperature of 18–22 °C;
- thickened crops;
- high doses of nitrogen fertilizers.

Agrotechnical measures and chemical plant protection methods are often ineffective, able to only slightly reduce the harmfulness of the disease, but not prevent its development, while causing environmental damage. The most effective method of protection is the creation of resistant varieties using breeding methods. Targeted differential breeding is required to develop varieties that retain resistance for a long time, taking into account the specifics of the sources of resistance genes and the possibility of their transfer to selected varieties.

As for horizontal resistance, it should be noted that it is present in different populations of varieties and is known as field resistance. When epiphytoties develop, not all varieties are equally affected by pathogens. In rye, it is not yet known how reliable race-specific resistance is due to the possibility of overcoming it when new mutant races of pathogens emerge.

The most effective protection measures against the development of brown leaf rust include [3]:

- not to grow rye in monoculture;
- sow at the optimal time;
- apply complete nitrogen-phosphorus-potassium mineral fertilizers;
- grow resistant varieties;
- at the degree of damage of 10–20 % of the leaf surface, carry out chemical treatment of crops with Strike Forte, Sintron, Fargo, Flint, Protazox, and Crestrazh.

Fungal diseases in winter rye crops are one of the factors of significant crop yield shortfall. The dominant and most harmful is brown leaf rust of winter rye – *Puccinia dispersa*.

Field studies to determine the percentage of powdery mildew spread and development were conducted in the conditions of the training and research field during the growing season of the crop in 2021–2023.

The farm where the research was conducted is dominated by light gray forest soils, and it belongs to the northern zone of the Zhytomyr region and is characterized by good favorable conditions for farming and growing crops. One of the crops we are studying is winter rye.

The humus horizon of the soil under study is 14–18 cm deep.

The granulometric composition of the soil is light loamy and structureless, and its density is in the range of 1.2–1.4 g/cm³.

The indicators of the arable layer: humus content is 1.95–2.63 %, alkaline hydrolyzed nitrogen is 45–60 mg/kg, mobile phosphorus by Kirsanov is 80–120 mg/kg of soil, exchangeable potassium by Kirsanov is 95–135 mg/kg of soil, and PH is within 5.5–6.1.

The weather conditions were favorable for research and cultivation of winter rye in Polissia of Ukraine.

The climate of Zhytomyr region is temperate continental. The continentality increases from northwest to southeast and is manifested in fluctuations in temperature and relative humidity, uneven distribution of precipitation throughout the year and by years, and pronounced dry periods. The average air temperature in the coldest month (January) varies from –10.9 °C in the north to –8.2 °C in the south, and in the warmest month (July) from 19.6 to 21.8 °C, respectively.

The growing season generally lasts 180–200 days. The sum of active temperatures ranges from 2300–2440 °C in the northwest to 2800–2900 °C in the southeast. The average long-term precipitation per year is 554 mm.

Most precipitation falls as rain and one third as snow. The period with an average daily air temperature of +5.0 °C begins on April 11–15 and ends 184–190 days later,

on October 17–20. The period with an average daily temperature of +10 °C begins on April 25–28 and ends on September 26–28 (150–160 days). The sum of average daily temperatures above 5 °C is 2700–3100 °C, and above +10.0 °C is 2400–2600 °C. The frost-free period lasts from April 1–4 to October 1–4 (150–158 days).

In terms of moisture availability, the northern districts of the region belong to the zone of unstable moisture. There is an uneven precipitation pattern by month and season. Droughts and dry winds are common. As a result, plants suffer from a lack of moisture and are therefore vulnerable to early autumn or late spring frosts, and in severe winters, under the influence of unfavorable conditions, the crop will be significantly thinned out in spring, and some areas may even die completely.

Rye overwintered in December under satisfactory conditions. During the thaw, winter crops were in a state of shallow dormancy. There was an increased consumption of nutrients for respiration, which reduced their winter hardiness. The minimum soil temperature at the depth of the tillering node was 1–6 °C below zero.

The first ten days of May were characterized by cold weather. The average daily temperature was 3–4°C and 9–10°C below normal. In the third ten-day period of May, the weather was dry and very hot. The average daily temperature was 27–29°C, which is 10–12°C above normal. Overall, May was 3–4°C warmer than usual in terms of temperature. Hot, dry weather and a lack of moisture in the topsoil complicated the growth and development of winter crops. During the day, the plants lost turgor. The average regional air temperature in June was 19–21°C, which is 1°C above normal. The average regional precipitation amounted to 67 mm, or 111 % of the June norm. Grain ripening conditions deteriorated due to high humidity. In July, grain ripening continued in winter crops. The average precipitation in August was 25 mm or 45 % of the monthly norm. On August 27–28, the productive moisture reserves in the tilth layer of the soils in the field intended for sowing winter crops were mostly insufficient, 11–14 mm.

Weather conditions, due to a decrease in plant density in crops, plant productivity, were one of the factors determining the yield and grain quality of the studied winter rye varieties over the years of research (in control experiments).

Observations have shown that meteorological conditions were favorable for the development of powdery mildew of winter rye, and its development was recorded.

To take into account the phytosanitary condition of winter rye crops, observations were made at the experimental site in the farm where the crop is affected by diseases characteristic of this zone. Observations of the disease development were carried out from February 25 (developmental stage EU 15) to July 18 (EU 87), according to the scale of phenological stages of BBSN.

At each survey, samples were taken from 100 plants – 10 from 10 locations along the diagonal of the field. The analysis of each sample was carried out visually using an eye scale.

Scheme of the research

Determination of the effectiveness of fungicides and plant growth regulator in winter rye phytocoenoses against the development of brown leaf rust:

- 1. Control (water treatment).*
- 2. Abacus Plus, CE, 0.8 l/ha + Ecostim-1, RK, 1.5 l/ha*
- 3. Ajax, CS, 0.5 l/ha + Ecostim-1, RK, 1.5 l/ha*
- 4. Greenford KD 500, FF 0.4 l/ha + Ecostim-1, RK, 1.5 l/ha*
- 5. Impact 500, FF, 0.2 l/ha + Ecostim-1, PK, 1.5 l/ha*

Spraying of phytocoenoses with fungicides and a plant growth regulator of winter rye was carried out at the 30th stage of crop development. The area of the recording plot was 10 m², replication was four times, and the variants were randomized.

Monitoring the spread and development of brown rust in winter rye phytocoenoses.

Brown leaf rust (*Puccinia dispersa*) – appears on the sheaths and leaves of rye in the form of brown pustules, which later turn into black, glossy bodies. The location of the lesions is random. The infection is widespread in the Polissya region (Fig. 1.2).



Fig. 1.2. Affected leaves of *Puccinia dispersa*, 2023 (*original photo*)

The appearance of visual symptoms of the disease is recorded on young seedlings and adult plants. The phytopathogen infects rye seedlings in the fall and, starting in spring, develops throughout the growing season. Usually, on the upper, and rarely on the lower side of the leaves and sheaths, there are many randomly scattered oblong or rounded uredinia, rusty brown or brick red in color, which look like powdery pads. Over time, clearly visible black pads form on the underside of the affected organs under the epidermis. Uredinia are usually surrounded by "green islands", a kind of light halo. The reason for their formation is the stimulation of the flow of nutrients from healthy tissue by the intercellular mycelium (urediniomycelium) of the phytopathogen. At the same time, the tissues surrounding these "islands" age rapidly.

Urediniospores are unicellular, elliptical or spherical, slightly brownish, with a spiny shell. Size 20.0-28.0x17.0-22.0 microns. There are 8-10 germination pores evenly distributed on the surface.

Teliospores are bicellular, club-shaped or oblong. The color is light brown, the apex is thickened and darker colored. The leg of the teliospore is short and almost colorless.

The phytopathogen has many physiological races of different geographical distribution and is specifically confined to host plant genotypes.

Brown leaf rust of rye is a dangerous plant disease that periodically occurs as an epiphytotic disease. It contributes to a significant reduction in yield due to leaf burns

and a decrease in their assimilation surface. Yield losses occur due to a decrease in the weight of thousands of grains and a decrease in protein content.

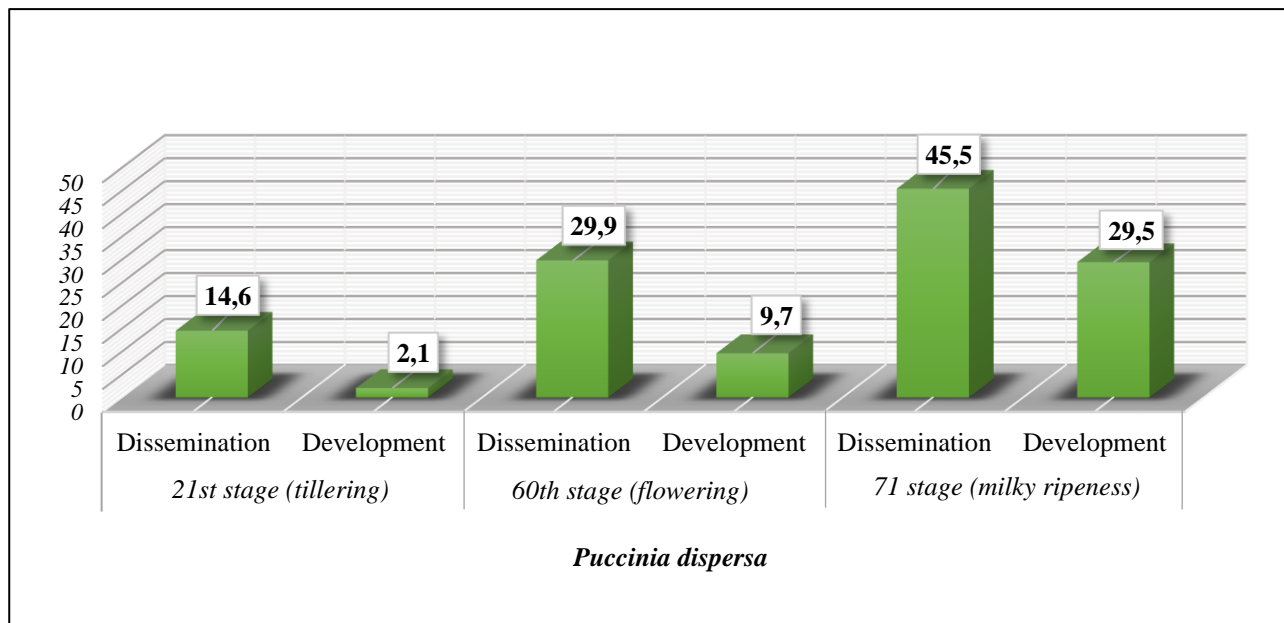
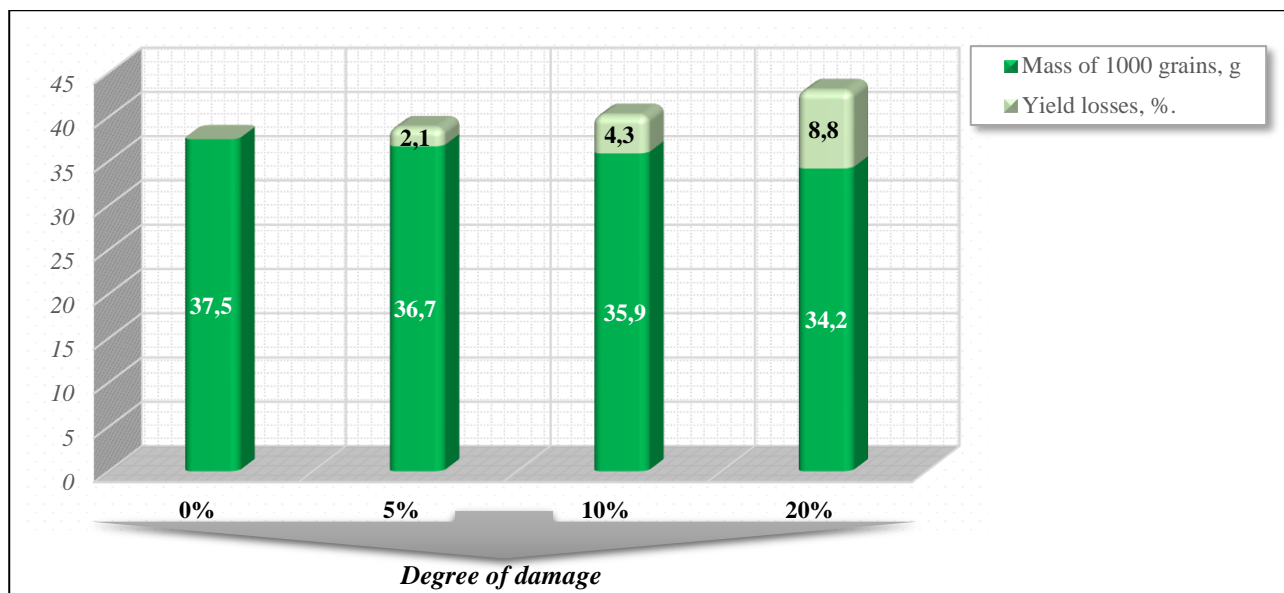


Figure 1.3. Dynamics of brown rust development in winter rye at different stages of organogenesis (variety Synthetic 38, 2021-2023)

The analysis of the results of the research showed that the development of brown leaf rust increased during the growing season of winter rye. The first symptoms of the disease appeared at the 21st stage of spring tillering and amounted to 2.1 %. The disease reached its maximum value at the 71st stage of milky-wax ripeness of winter rye at 29.5 %.

Mycoses play an important role in reducing the yield of winter rye. They affect the aboveground parts of the plant, causing tissue death. The main pathogen that causes significant yield losses in all countries where crops are grown, including Ukraine, is the fungus *Puccinia dispersans*, the causative agent of brown leaf rust.

During the study period of 2021–2023, yield losses caused by the pathogen *Puccinia dispersifolia* were detected (Fig. 1.4).



**Fig. 1.4. Harmfulness of brown leaf rust of winter rye
(variety Synthetic 38, 2021-2023)**

The highest yield losses were 8.8% when the rust development was more than 20%, which was reflected in the weight of 1000 grains, which decreased from 37.5 to 34.2 g. The minimum losses (2.1%) were recorded when the rust development was 5%, and the largest losses were recorded when the rust development was 20% and amounted to 8.8%.

Evaluation of measures to control and limit the spread and development of brown leaf rust.

Fungicides are used to protect plants from diseases. They affect the metabolic processes of fungal cells and inhibit enzymes in pathogen cells and are sources of infection in the development of various diseases. Treating plants during the growing season with a fungicide will increase your benefits by protecting the health of your winter rye and future crops.

The concept of integrated plant protection is in line with the principles of ecologization and environmental protection, which involves the integrated use of modern agricultural technology, resistant varieties, and rational use of pesticides. The need to use pesticides is driven by growing losses from pests and weeds, deteriorating quality of crop products and lack of real alternative methods, shortage of resistant varieties, and high cost-effectiveness of pesticides.

It has been experimentally proven that the simultaneous application of growth regulators and fungicides with the correct selection of the composition of tank mixtures increases their effectiveness by 1.5–2 times or more. In Fig. 1.5 shows the results of studies on the effectiveness of fungicides and a plant toast regulator against brown leaf rust.

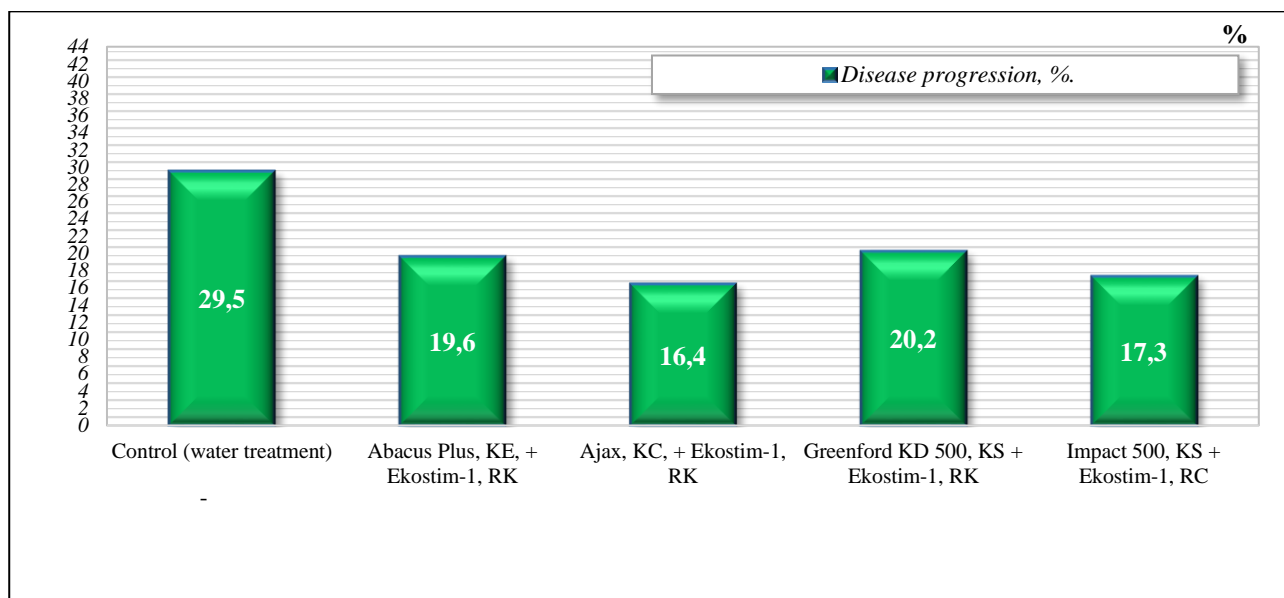


Fig. 1.5. The effect of complex protection of winter rye on the development of brown leaf rust (Synthetic 38, 2021-2023)

The combined use of the plant growth regulator EKOSTIM-1, RK and fungicides had a positive effect on the dynamics of brown rust development in winter rye.

The lowest development of brown rust was recorded in the variant where the crops were sprayed with a mixture of Ajax, CS, 0.5 l/ha and EKOSTIM-1, RK, 1.5 l/ha, which was 15.4%, which is 13.1% lower than in the control.

The purpose of the study was to investigate the effects of plant growth regulators and fungicides on winter rye to select the most effective products that improve the phytosanitary condition of crops and increase crop productivity.

The intensive development of brown rust allowed us to obtain objective data on the technical effectiveness of the fungicides and plant growth regulator used. Decisions on the need for protective spraying against brown rust were based on relevant criteria. The applied fungicides did not have a negative impact on the sowing quality of seeds. In particular, the germination energy and seed germination did not differ significantly

between the treated and control variants.

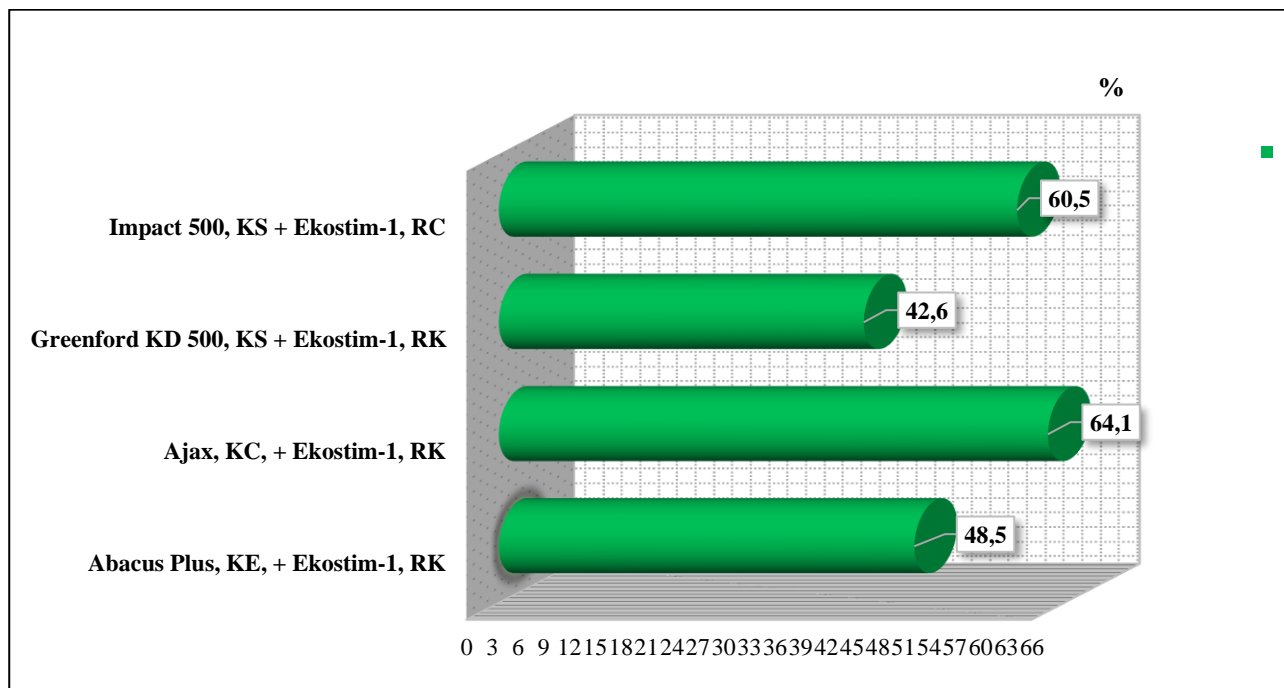


Fig. 1.6. Technical effectiveness of fungicides and plant growth regulator against the development of brown leaf rust of winter rye (variety Synthetic 38, 2021-2023)

The results of the research in Fig. 1.6 showed that the combined use of growth regulator and fungicides in winter rye phytocoenoses contributed to the enhanced process of stem formation, the ear was formed longer in size, the weight of seeds per 1 ear and their grain size increased. It should be noted that this trend was observed in all variants.

Technical efficiency in the studied variants varied from 42.6 to 64.1%. The highest rates were recorded in the variant of joint application of Ajax, CS, 0.5 l/ha and Ekostim-1, RK, 1.5 l/ha, which amounted to 64.1%.

Brown leaf rust can cause a significant reduction in yield and grain quality, but the presence of infection does not always lead to yield loss or an economic response to fungicide use.

Varietal susceptibility, seasonal weather conditions, yield potential and timing of infection all influence the likelihood of yield impact. Infection early in the season can significantly reduce yields of susceptible varieties (up to 25%) by reducing photosynthetic leaf area and nutrient availability to plants, but more importantly by

affecting yield potential by stimulating excessive non-grain stem formation. Severe infection can also cause crop lodging due to weakened stems. The earlier the infection occurs, the longer it persists and the higher up the plant it spreads, the greater the potential yield losses.

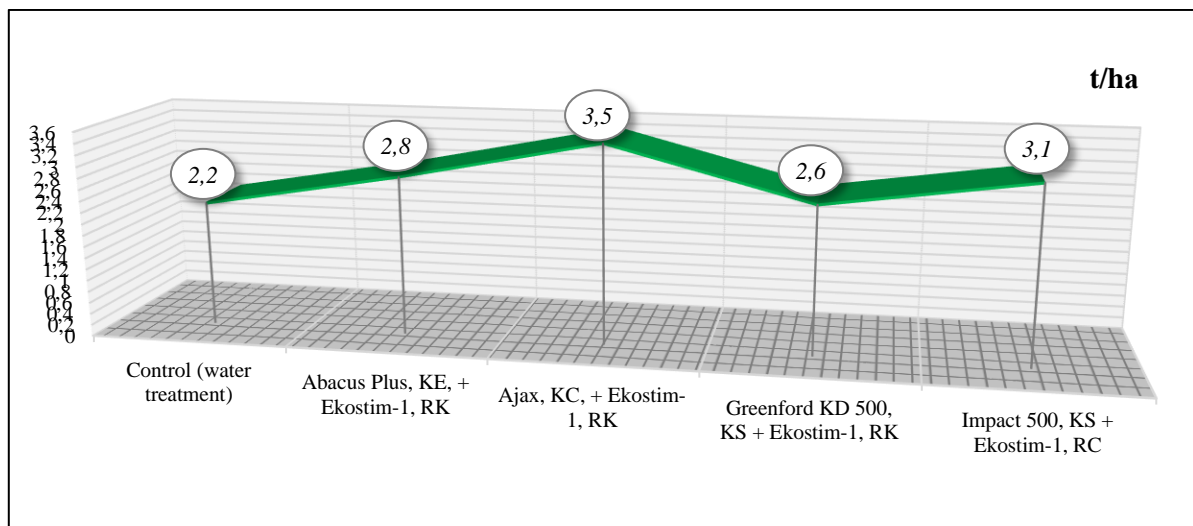


Fig. 1.7. Yield of winter rye under the complex application of fungicides and plant growth regulator against the development of brown leaf rust (Synthetic 38 variety, 2022–2023)

The level of yield obtained depending on the proposed measures of protection against brown leaf rust in winter rye phytocoenoses is shown in Fig. 1.8.

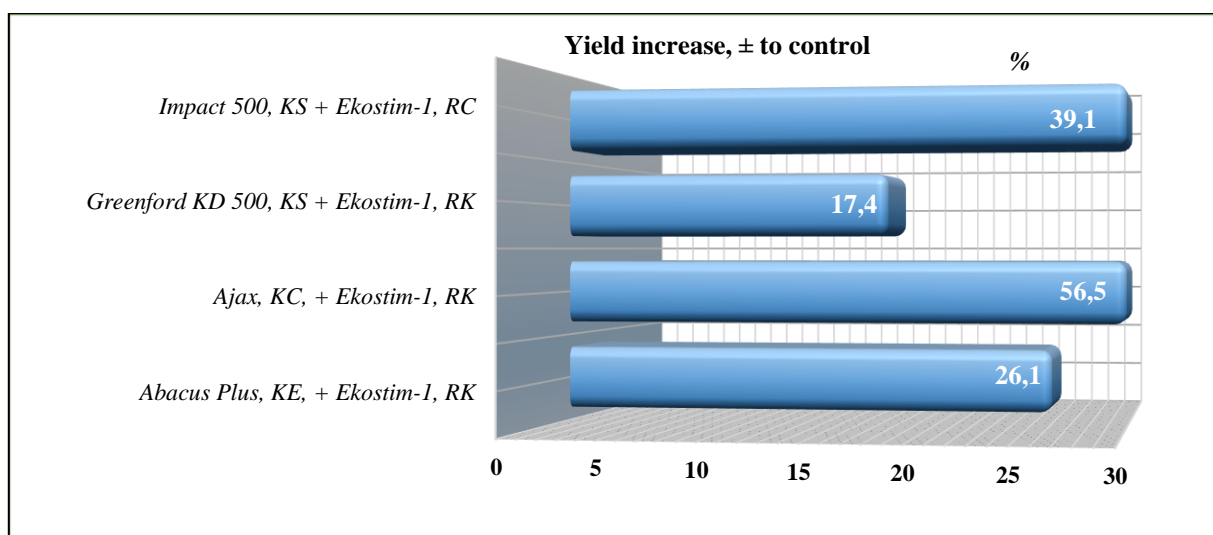


Fig. 1.8. Increase in yield due to the complex application of fungicides and plant growth regulators against the development of brown leaf rust (Synthetyk 38 variety, 2022–2023)

The increase in the yield of winter rye grain with the complex application of fungicides and plant growth regulator provided an increase in the yield at the level of 0.4 to 1.3 t/ha.

The maximum yield of winter rye was provided by the mixture of Ajax, KS with a consumption rate of 0.5 l/ha and Ecostim-1, RK, 1.5 l/ha, which amounted to 3.6 t/ha, which provided an increase of +1.3 t /ha, or 56.5%.

Economic effectiveness of winter rye protection systems. The modern practice of the chemical method of plant protection is based on ecologically, economically and toxicologically justified application of pesticides. Some economic aspects of the use of fungicides on winter rye crops are considered in the paper. It is shown that the cost of treatment with fungicides pays off in terms of yield increases. How economically expedient are repeated treatments of winter rye crops with fungicides. The effectiveness of the combined use of fungicides and plant growth regulators is evaluated depending on the use of various other intensification factors (Table 1). Calculations were carried out according to generally accepted methods, taking into account the normative price indicators of 2023.

Table 1. Economic efficiency of growing winter rye depending on the complex application of fungicides and a plant growth regulator against the development of brown leaf rust (Synthetyk 38 variety, 2022–2023)

| Indicator Grade | Synthetic 38 | |
|--|------------------------------|---------------------------|
| | control (without protection) | complex spraying of crops |
| Productivity, t/ha | 2,2 | 3,5 |
| Labor costs, man-hours/hour | 0,52 | 0,52 |
| Material and monetary costs, hryvnias/ha | 4928,69 | 6007,8 |
| Production cost t, hryvnias | 2142,91 | 1668,83 |
| Net profit | 1971,31 | 4785,8 |
| Production profitability level, % | 38,6 | 74,8 |

The analysis of economic efficiency showed that the profitability of the complex application of the plant growth regulator Ekostim-1, RK and the fungicide Ajax, KS at a reduced rate of use was 74.8%, and the net profit was UAH 4,785.8/ha.

Cultivation technologies are a crucial link of the production process, their importance will increase, and the future lies behind them [7].

Cultivation of winter grain crops using intensive technology is an effective measure and economically profitable, when the increase of grain relative to the yield of the reference variant is not lower than 10 t/ha. This can be achieved by the correct application of the main factors of intensification of grain production, as well as fertilizers, mostly nitrogen, and an integrated system of protection against pests, diseases, lodging and weeds [4].

The main goal of intensive technologies is the formation of the maximum yield of winter crops, which is possible if a complex of agroforestry practices is developed, which include providing plants with a sufficient amount of all nutrients during the growing season.

The intensive technology of growing winter rye involves a number of specified agrotechnical measures. It includes placement of winter rye according to the corresponding predecessors; introduction of intensive varieties; soil cultivation, which ensures the creation of favorable water and nutrient regimes, and improvement of the physical properties of the soil; optimization of mineral, especially nitrogen, nutrition during the growing season of plants; fractional application of nitrogen fertilizers according to the main stages of organogenesis, taking into account the results of soil and plant diagnostics; integrated protection of plants from weeds, pests, diseases, lodging; timely and high-quality performance of all agrotechnical measures for sowing and harvesting, use of a technical complex of machines and tools [9].

A number of authors note the effectiveness of mineral fertilization of winter rye and recommend the application rate of $N_{120}P_{90}K_{90}$ specifically on sod-podzolic soils. Nitrogen fertilizers have the highest influence on the protein content of grain. When N_{150} was added, the protein content rose to 13.6% compared to 11.7%.

It has been established that among grain crops in the Polissia of Ukraine, the highest costs of total energy per 1 ha are noted for the cultivation of spring wheat and the lowest – for wheat and rye. The variety of winter wheat and rye productivity results in production indicate unused rye reserves. Breeding of highly productive short-stemmed varieties of winter rye and their introduction will really allow to change the ratio of areas of winter wheat and rye in the structure of winter crops, bringing the share of the latter to 1/3.

Winter rye successfully competes with winter wheat, this is demonstrated by the results of many scientific studies, the real prospect of rye receiving more than 1 million tons of grain annually.

We studied a three-field crop rotation with the following fertilizer options:

Variants of fertilization systems

1. Biological control
2. Organo-mineral system (37.5 t/ha of manure + N_{12.5}P₁₀K_{17.5})
3. Organic system (siderates – 12 t/ha)
4. Mineral system – N₅₀P₄₀K₇₀

Winter rye was grown according to generally accepted agricultural techniques for the northern zone of Polissia. Winter rye is grown on different soils, but under the condition that the thermal properties of the region, moisture, soil aeration, which are important elements, will be at the very end during the period of formation of this crop [1].

The farm envisaged a research scheme for the introduction (by spreading method) of the following amount of NPK under winter rye, namely:

1. Nitrogen – 60 kg per ha (ammonium nitrate and urea);
2. Phosphorus – 40 kg per ha (simple superphosphate);
3. Potassium – 70 kg per ha (potassium chloride and potassium salt).

Agrotechnological efficiency. Considering the dependence of winter rye yield on the fertilization system on light-gray forest soil, the following results were obtained.

In the variant without fertilizers (Biological control), the yield of rye grain was low and amounted to only 2.33 t/ha.

It can be said that the highest level of productivity was under the mineral fertilizer system and is 3.38 t/ha, which is 1.05 t/ha more than the control.

In second place is the option with the organo-mineral system, where the yield was 3.2 t/ha, which is 0.9 t/ha more than the control, and 0.14 t/ha lower than the maximum yield obtained with the mineral system. In the variant where only the organic fertilizer system was used, an insignificant increase in the yield of rye grain was observed in comparison with the control.

Table 2. Yield of winter rye depending on fertilization systems, t/ha

| Fertilizer system | Урожайність, т/га | | | Average, t/ha | +/- to control, t/ha |
|-----------------------|-------------------|------|------|---------------|----------------------|
| | 2021 | 2022 | 2023 | | |
| Biological control | 1,81 | 3,13 | 2,06 | 2,33 | - |
| Organo-mineral system | 2,77 | 3,75 | 3,20 | 3,24 | 0,91 |
| Organic system | 2,31 | 3,57 | 2,26 | 2,71 | 0,38 |
| Mineral system | 2,59 | 3,78 | 3,77 | 3,38 | 1,05 |

Thus, the yield was 2.71 t/ha, which is 0.38 t/ha more than the control. Taking into account the results of the yield of winter rye for 2021, we can conclude that the most effective fertilization system was the mineral system, and the lowest level of yield was shown by the organic fertilization system.

Environmental efficiency. Let us consider in comparison the following flour milling properties, which were obtained during cultivation on different fertilization systems, namely (nature g/l, weight of 1000 grains g, vitreousness). The best nature of 718 g/l rock mineral system with a small weight of 1000 grains compared to other results. The highest vitreousness was for the mineral system and for the organo-mineral system, the last of which showed the highest mass of 1000 grains, but did not exceed the mass of the control. Cultivation of winter rye under an organic system (siderates – 12 t/ha) showed rather lower flour milling properties compared to other options.

Table 3. Flour milling properties of winter rye grain (2021–2023)

| Fertilizer system | Indexes | | |
|-----------------------|------------|--------------------------|-------------|
| | nature g/l | weight of 1000 grains, g | vitreous, % |
| Biological control | 693 | 42,8 | 29 |
| Organo-mineral system | 701 | 42,0 | 36 |
| Organic system | 698 | 41,1 | 29 |
| Mineral system | 718 | 40,4 | 36 |

Gluten plays the main role in shaping the baking properties of rye flour. In rye dough, it forms a continuous dispersed phase within which the rest of the substance is contained. Having a certain elasticity, extensibility of gluten, it retains carbon during fermentation, which ensures the proper volume and porosity of bread.

Table 4. Baking properties of winter rye grain medium (2021–2023)

| Fertilizer system | The amount of gluten, % | Elasticity of gluten, um.od. | Extensibility of gluten, see |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Biological control | 16,2 | 99,6 | 6,9 |
| Organo-mineral system | 17,1 | 85,1 | 7,8 |
| Organic system | 16,7 | 96,4 | 7,4 |
| Mineral system | 17,3 | 84,3 | 8,1 |

When baking the dough, gluten is denatured and fixes the shape of the bread and the structure of the dough, so there must be enough of it to form a continuous dispersed phase of the dough. The quality of the gluten itself plays no less important role than its quantity. Stronger gluten determines the increased strength of the dough, burdens its extensibility with carbon. Weak gluten is not suitable for forming a protein framework of the necessary strength. It retains carbon quite poorly, and accordingly bread products have poorly developed porosity and a small volume. The largest amount of gluten was obtained with the mineral fertilizer system, which was 17.3%, with the highest stretchability of 8.1 cm, but low elasticity of 84.3. A somewhat lower indicator was obtained for the organo-mineral fertilization system, and was 17.1. The organic system showed the highest gluten elasticity of 96.4, which is slightly less than the control, but in other indicators, the organic system did not show high results.

Energy efficiency in growing winter rye. Each ecological system is characterized by a certain energy exchange, which is provided by two main sources: 1) solar radiation (photosynthesis); 2) oxidation reaction of inorganic substances (chemosynthesis). Moreover, as Braun L points out, the deterioration of the ecological state of the biosphere contributes to the growth of energy consumption in agriculture, while the increase in yield is not significant. Thus, costs in the USA for agricultural production in comparison with 1910. increased 10 times, while the yield increased only twice, in England, the amount of fertilizers applied increased 8 times, and the yield increased by only 50%.

The increase in energy consumption in agro-landscapes under modern conditions is primarily related to the use of energy of anthropogenic origin in the form of labor resources, agricultural machinery, fuel and lubricants, and chemical means of plant protection. The results of research by S.V. Rogalsky, conducted in the forest-steppe zone of Ukraine, note that in the structure of the total energy potential of the studied agricultural landscape, costs of anthropogenic origin amounted to only 0.1% and in retrospect did not exceed 0.2% (at the same time, 30% of the total energy potential was the energy of soil fertility and about 70% – solar energy), their functional influence on production processes remains decisive.

Odum Yu.P. notes that about 40% of the world's arable land is intensively used with high energy costs. According to G. Kant, the main articles of energy consumption are the use of nitrogen fertilizers (43 % of total energy consumption) and fuel and lubricants (29 % of total energy consumption). At the same time, maximum energy savings can be ensured by: biological nitrogen fixation instead of chemical-technical nitrogen fixation; minimization of soil cultivation; biological loosening; reduction of pesticide costs.

In contrast to the monetary assessment, the indicators of energy efficiency are constant and do not depend on subjective factors at all, such as market value, inflation, exchange rate, which gives a real opportunity to estimate exactly the energy costs when growing various agricultural crops under the conditions implementation of soil cultivation technologies and fertilizer standards. At the same time, the main evaluation

criterion is the energy efficiency coefficient, which is determined by the ratio of the received mass of energy to the energy consumed.

Table. 5. Energy efficiency of winter rye growing technology on different fertilization systems, 2021–2023

| Fertilizer system | Yield, t/ha | Total energy spent, MJ | Energy output, MJ | Costs per 1 h, MJ | Energy efficiency coefficient (Kee) |
|-----------------------|-------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Biological control | 2,33 | 8772,6 | 61003,7 | 280,3 | 6,95 |
| Organo-mineral system | 3,24 | 10128,85 | 73087,5 | 270,1 | 7,21 |
| Organic system | 2,71 | 12804,6 | 69579,3 | 358,7 | 5,43 |
| Mineral system | 3,38 | 14197,6 | 73672,2 | 375,6 | 5,19 |

The analysis of the obtained results, as can be seen from the table, showed that the highest indicators of the coefficient of energy efficiency were within 7.21, under the conditions of the organo-mineral system, while the lowest indicator was recorded on the mineral system and was 5.19. In our opinion, the reason for this was the sufficiently high energy intensity of mineral fertilizers compared to organic fertilizers, and therefore, despite the highest productivity, it was the mineral system, which amounted to 3.38 t/ha, that the energy consumption indicator was the highest. Therefore, from the energy point of view, we recommend an organo-mineral fertilization system, that is, the simultaneous application of organic fertilizers, and in our case, the after-effect of manure, and the compensation of the need with moderate rates of mineral fertilizers.

Conclusions. As a result of the monitoring and the conducted experiment, it was established that brown leaf rust is the most common and harmful disease in phytocenoses of winter rye, and effective methods of protection are proposed.

1. The greatest yield losses were 8.65% when the development of rust was more than 20%, which was reflected in the weight of 1000 grains, which decreased from 38.7 to 35.4 g. The minimum losses (1.85%) were recorded for the development of rust 5 %, and the largest - 20% and amounted to 8.65%.

2. The lowest development of brown rust was recorded in the variant where crops were sprayed with a mixture of Ajax, KS, 0.5 l/ha and Ekostim-1, RK, 1.5 l/ha, which was 15.4%, which is 13.1% lower than the control.

3. Technical efficiency in the studied options varied from 42.6 to 64.1%. The highest indicators were recorded on the variant of the combined use of Ajax, CS, 0.5 l/ha and Ekostim-1, RK, 1.5 l/ha, which amounted to 64.1%.

4. The maximum yield rate of winter rye was provided by the mixture of Ajax, KS with a consumption rate of 0.5 l/ha and Ekostim-1, RK, 1.5 l/ha, which amounted to 3.6 t/ha, which provided an increase of +1, 3 t/ha, or 56.5%.

5. The analysis of economic efficiency showed that the profitability of the complex application of the plant growth regulator Ekostim-1, RK and the fungicide Ajax, KS at a reduced rate of use was 74.8%, and the net profit was UAH 4,785.8/ha.

6. The highest level of productivity was under the mineral fertilizer system, which amounted to 3.78 t/ha in 2021, showing an average result of 3.38 ha, which is 1.05 t/ha more than the control.

7. The obtained specific weight of 1000 grains gave the highest result on the organo-mineral system of 42.0 g.

8. According to the bread-making properties of the grain, the highest percentage of gluten was obtained from the mineral system of 17.3%, also with its greatest extensibility of 8.1 cm.

9. The highest indicators of the energy efficiency coefficient were obtained under the conditions of the organo-mineral fertilization system, which was within 7.21.

1.2 Improvement of sugar beet storage technology with the development of kagatu ventilation modes

Currently, the method of long-term storage of beets in field boxes on cultivated fields is widespread, which is associated with increased losses of beets up to 11-16%. Beet-harvesting combines during the harvesting of sugar beets form field ridges 2.5-3 m high on the periphery of the field. Storage of root crops in field kagatas has a number of significant disadvantages. With the low provision of agricultural territories with paved roads, the risks of reducing the rate of transportation of root crops from the fields of cultivation to the sugar factory on roads are increased, which leads to a decrease in productivity during the processing season due to a shortage of raw materials - sugar beets.

The preservation of sugar beet pulp depends on the ratio of the mass of stored raw materials to the surface area of the pulp exposed to the environment. In field kagats with a height of 2.5-3 m, the ratio is in the range of 0.35-0.42. This ratio characterizes the degree of influence of environmental factors on the array of root crops, in other words, the inertial properties of the embankment. The environment affects the embankment due to solar radiation, air temperature fluctuations, precipitation and wind. The outer layer of the embankment with a thickness of 0.5-1 m is exposed to the most aggressive influence of the environment. In field kagatas, up to 77% of the volume of the embankment is exposed to the influence of the environment, and when frosts occur, they can freeze completely [19, 20].

Frozen roots of sugar beets lose their technological value, because the processes of rotting and infection with pathogenic fungi and bacteria intensify in them, which lead to an increase in losses of beet pulp.

One of the ways to ensure the preservation of root crops is to increase the size of sugar beet pods to increase the ratio of the mass of stored raw materials to the surface area of the pods exposed to the environment. In kagatas with a height of 5-6.5 m, a width of the base of 28-30 m and a width of the upper platform of 8-10 m, this ratio is

equal to 1.05 - 1.35. In such kagatas, from 13 to 31% of the mound of root crops is exposed to the influence of the environment [19]. In kagatas with high inertia, part of the excess heat is removed worse due to weak convection of air masses, so storage in them involves the use of active ventilation systems .

The presence of an active ventilation system makes it possible to regulate and maintain the optimal temperature inside large sugar beet bags , in contrast to field bags stored in cultivation fields [17, 18, 19, 20].

Long-term storage of sugar beets in sacks equipped with an active ventilation system allows to reduce the loss of beet pulp to 3-5% [19, 20].

active ventilation system in kagatas is possible at organized sites - beet points [16, 20]. Centralized storage at beet points allows you to solve the problem of transporting root crops to the plant for processing when off-road.

Storage in warehouses equipped with an active ventilation system takes place under changing weather and climate conditions. Ensuring the safety of root crops in kagata during long-term storage largely depends on the perfection of control algorithms and operating modes of the active ventilation system. The existing control algorithms do not ensure the correct operation of ventilation during the entire storage period, as they require the participation of highly qualified personnel. Widespread implementation of sugar beet bag storage technology with active ventilation is possible when switching from automated to automatic control type.

In the case of centralized storage of sugar beets in boxes at the beet center the task of determining the order of unloading of long-term ventilated storage bags for further processing is relevant . Currently, sugar beet kagatas are shipped in order of formation, that is, the first kagata formed is the first to be processed. This method does not take into account the intensity of processes occurring inside the kagat during storage, which largely depend on the heterogeneity of the quality of the stored sugar beet roots .

it is practically important and urgent to improve the technology of sugar beet storage with the development of kagat ventilation modes . By implementing modern storage technology, plants will be able to avoid processing root crops that have not

gained mass in August-September, increase the duration of the processing season with a simultaneous reduction in the loss of beet pulp during storage [16]. Application of the technology of active ventilation of sugar beet stalks at beet stations allows to increase the duration of plant operation by 9-22% and reduce the cost of sugar by 2-4.5%.

There are many different designs and types of active ventilation systems . It is known that in most cases, active ventilation systems are used to cool plant products in closed storage with enclosure structures.

In this work, the tasks of improving the technology of storing sugar beets for more than two months in casks, the surface of which is exposed to environmental influences, are solved by developing the modes of operation of the ventilation system with an automated type of mode control , as well as on the basis of the developed mathematical model of heat and mass exchange processes.

The system of active ventilation of the kagat refers to a complex of engineering systems that provides support and regulation of the microclimate by injecting air into the kagat through ventilation branches. The ventilation branch refers to an engineering system for supplying air from the environment to a piece of kagat through an air distributor with the help of a fan built into the ventilation unit. The ventilation branch includes a fan, duct, outlet, air distributor and other elements designed to supply air to the kagat fragment.

For the technology of long-term storage of sugar beet root crops, systems of active ventilation of kagatas, which are used on sites without stationary protective structures, were developed . The ventilation system should ensure uniform supply and distribution of air throughout the entire volume of the kagat. The design of the ventilation system should have flexible regulation of air supply to individual fragments of the kagat. The active ventilation system should be reliable and convenient to operate, and costs should be minimal, taking into account the preparation of equipment at the site of long-term storage of root crops .

Schemes of long-term storage of kagats were also proposed , in which the loading of kagats was carried out using an overhead crane.

Currently, two types of decentralized active ventilation systems with ventilation branches located transversely to the central axis of the kagat are used. In these systems, floor metal ducts with round sections are used. The difference in the schemes lies in the method of injecting air into the air duct: from one or both sides of the kagat. Valezno depending on the method of air injection into the air duct, kagatas are divided into single and paired (Fig. 1). The choice of the fan depends on the intensity of air supply per ton of sugar beet root crops , which is from 30 to 70 m³/h. depending on the climatic zone. Axial fans of low and medium pressure, whose electric motor power is from 5.5 to 11 kW, have become widespread . Air supply to the kagata is carried out through air outlets holes located on the surface of the duct.



Figure 1. Active ventilation systems: a - air supply from one side for a single kagat; b - air supply from two sides of the paired kagat

Ventilation channels are installed on the storage site during the formation of the kagat and are covered with root crops using a side loader cars. The interaxial distance between the ventilation branches of a single kagat is 6 m, in a paired one - from 4 to 5 m.

The advantage of paired kagates is the best ratio of mass to the surface area of the kagate in contact with the environment . The width of the lower base of the paired kagat varies from 70 to 90 m, the height is from 6 to 7 m, the length is from 160 m . machines of increased productivity from 500 to 750 t/h (superBUM), which is equipped with two tipping platforms for heavy trucks with trailers. SuperBUM is moved in the process of laying kagat with the help of reinforced concrete wheels or

crawler tracks, as well as with the help of rail tracks. SuperBUMs lack maneuverability and can move forward and backward. In u in case of technical failure, it cannot be replaced with another superBUM , therefore, the laying of root crops in the kagata stops.

After the formation of a paired kagat during the cooling process , it is necessary to ensure the synchronous operation of two fans connected to one ventilation channel. In the absence of synchronization, the air flow from one fan can spin the impeller of the second one in the opposite direction. Fans with three-phase electric motors with a power of 5.5-11 kW with massive impellers are used in active ventilation systems . In this case, the start of the second fan with the impeller spun in the opposite direction leads to a sharp increase in the starting moment of the resistance of the fan. The risks of premature failure of the electric motor of the fan increase . To eliminate this situation, it is necessary to create a gap between the sections of the ventilation channel in the center of the paired kagat. During the formation of the kagata, the gap is filled with root crops, which perform the function of a valve for air flow, but in this case, the balancing of the air duct may be disturbed. Balancing is a methodical adjustment of air flows from air outlets to achieve uniform cooling of the ventilated fragment of the kagat. Regulation is carried out on industrial samples by changing the location, number and cross-section of holes. The fragment of the kagat refers to its part in which the ventilation branch is located . Areas located closer to the fan should be cooled at the same rate as those further away from it. The ventilation branch is longer (35-45 m) in the paired khagat than in the single khagat (22-25 m).

At the moment, both software algorithms and the work of an operator who changes settings in the system are used for the operation of the active ventilation control system. Algorithms that allow the control system to work without operator participation in automatic mode have a limited scope of application.

They were installed in kagat wireless thermobars according to a certain scheme of binding to numbers fans. On basic station 3 was received signals temperatures from different parts of kagat from thermobar 1, as well as value temperature and humidity surrounding environment from weather station 2. With and stations on the network

Ethernet received signals were transferred to server 4 where they were processed. If fulfillment of the conditions of the algorithm from the server to the base the station the signal to turn on the fan comes from were headed for the closet management ventilation 6, where the start-up of the ventilation was carried out systems. Parameters necessary for complex evaluations work systems were displayed on the automated worker operator's seat 5.

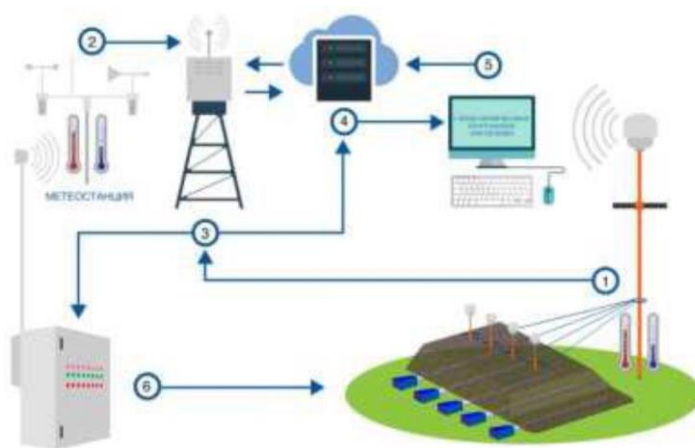


Figure 2. Schematic diagram of interaction elements systems long storage sugar beets: 1- wireless thermobar, 2 local weather station, 3 - basic station, 4 - server, 5 - automated working operator's place, 6 - cabinet management ventilation.

Despite the similarities organizations systems management ventilation were observed essential differences in software supplies for tasks management hardware complex, from what directly depends efficiency work systems active ventilation. Insufficient level competences in the matter long ventilated storage in kagatas led to incorrect technical tasks for developers' software provision. Currently for work systems management of active ventilation are used as software algorithms, as well as the work of the operator, which changes settings in the system. Algorithms which allow work system control without operator participation in automatic mode, have limited scope of application.

The algorithm allows to implement the mode of operation systems ventilation is not taken into account variability temperature ranges surrounding air. Application of the algorithm is effective at the initial stage storage kagatas in the period high ambient

temperatures air in October. However, since November, observed him incorrect work that leads to the necessity involvement of the operator in the operation of the algorithm by means of adjustment

The algorithm allows you to implement the operation mode of the ventilation system without taking into account the variability of the temperature ranges of the surrounding air. Application of the algorithm is effective at the initial stage of storage of kagatas during the period of high ambient air temperatures in October. However, since November, its incorrect operation has been observed, which leads to the need to involve the operator in the operation of the algorithm by means of adjustments setting values. The operator's work requires a high level of personnel qualification , which hinders the scale of technology at sugar factories. Reducing the dependence of the active ventilation system control algorithms on the operators is possible by improving the software by specifying the active ventilation system operating modes under weather and climate conditions that change during the storage period. The difference between the air temperature in the interroot space of the sugar beet kagat and the ambient air temperature at which the active ventilation system is activated depends on two parameters:

- minimally permissible setpoint value that is defined attitude quantity allocated heat in kW to quantity spent under work time systems active ventilation;
- implementation conditions achievement given settings
- On the uncle's rice 3 presents a graph that characterizes dependence cooling coefficient from differences between air temperatures in the root spacious sugar cane beets and air from the surrounding environment.
- When determining the value of the minimum setting differences between air temperatures in the book sugar beets and air from the surrounding environment necessary consider least favorable the period for ventilation is October.

-

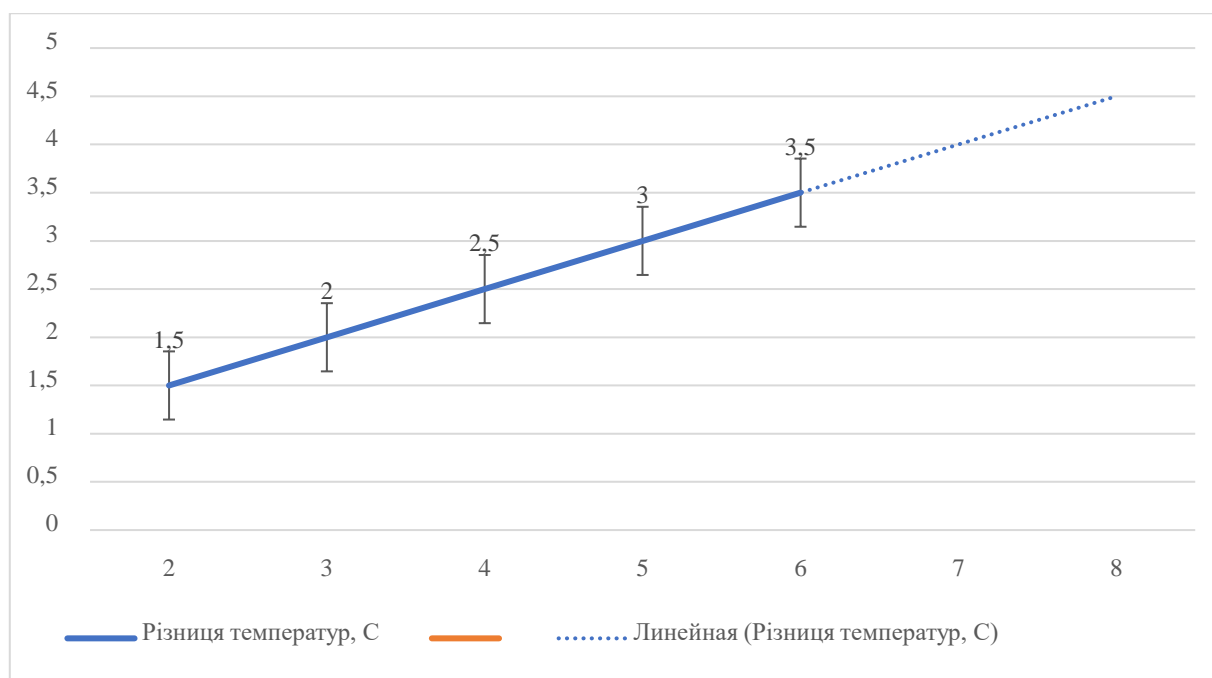


Figure 3. Dependence cooling coefficient from differences between air temperatures in the interradicular spacious sugar cane beets and tidal air from the surrounding environment

During storage the temperature difference between the sugar cane beets and air from surrounding environment constantly was changing parameter (settings) that characterizes the operation of the system ventilation due to the temperature difference between the kagate and the air from the environment environment, determined by the results of the analysis data. It was established that in October observed for 138 hours the temperature difference between the sugar cane beets and air from surrounding environment more than 2°C, which allows to ensure the operation of the system active ventilation within 112 hours.

Thus, the setting of the temperature difference between the sugar cane beets and air from the environment environment, at which the active system is turned on ventilation is equal to 2°C.

At a setting of 2°C the most intense decrease temperature was observed within 45 minutes work systems active ventilation.

Duration is omitted difference content moisture between air from the

environment environment and air in the root system kagatu spaces at the time of inclusion systems active ventilation was equal to 3 g /kg. Duration operation of each of the modes determined on the basis of analysis statistical data of changes temperature surrounding air in the period storage sugar beets for decades. According to the results of the analysis of ambient temperatures air from 2019-2021, which is for operation in the mode support the optimal period is from October 1 to 31, in the mode cooling - from October 1 to December 10, in cyclical - from December 11 to the end storage

Convergence computational and experimental data trace regard as a whole satisfactory; divergence is a little more 6-8%, which is within the margin of error experiment.

When applying given models definition losses masses in the process ventilation of sugar cane beets was it is established that the error is 16%. Related this with the fact that the model does not take into account changes parameters tidal air under time of passage through the lower layers in the paper.

After entering a correction factor divergence between experimental data and math model was 9%. Figure 3.8 shows the graph changes losses beet pulp in a ventilated room kagat sugar beets.

Comparison algorithms sequence unloading for processing took place on 6 sugar beets equipped with an active system ventilation, results presented in the table 1.

Table 1.
Comparison algorithms shipment kagats for processing

| | Kagat No. 1 | Kagat No. 2 | Kagat No. 3 | Kagat No. 4 | Kagat No. 5 | Kagat No. 6 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ventilation time, hours | 122 | 113 | 126 | 117 | 124 | 106 |
| Loss beet pulp from ventilation, | 7,8 | 8.6 | 7.7 | 8.1 | 8.1 | 7.4 |
| Total | 942.8 | 953.0 | 951.0 | 952.2 | 985.0 | 767.5 |
| Periodicity shipment by date formation | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Periodicity shipment depending from period work and losses beet pulp | 5 | 2 | 3 | 4 | 1 | 6 |

Duration work systems active ventilation was obtained from the results of the analysis event log in software security ECMAS-1.0, and the calculation losses beet pulp in the process aeration calculated based on the results of the developed mathematical models.

When shipping were not taken into account by the date of formation duration ventilation and losses beetroots, which are indirect signs that characterize easygoing root crops.

Of the conducted experimental of research, you can do such conclusions:

- in defined the value of the settings that characterize three regimes work systems active ventilation (maintenance , cooling and cyclic):
- difference temperatures between sugar cane beets and air from the surrounding medium is 2 °C;
- - the maximum permissible difference moisture content between air from the environment environment and air in the root system kagat spaces at the time of inclusion systems active ventilation was 3 g /kg;
- duration period growth temperature in the local cell self-heating 72 hours;
- duration operation of the fan during one period of 5 hours.

experimental results comparison of the data was carried out using the sequence method unloading kagats for processing by the fact of formation with the algorithm that takes into account dependence from duration ventilation and losses masses of kagat in the period storage. In the developed algorithms sequence unloading of the kagats loss masses was determined based on the results of calculations using developed mathematical models. It is established that the developed algorithm gives be able to determine the biggest losses.

SECTION 2. ARCHITECTURE, CONSTRUCTION

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.2.1

2.1 Preservation and restoration of the wooden church, which is a spiritual, historical and cultural heritage

Sacred architecture is of great importance for the historical and cultural heritage and influenced the national history, development of culture and art. The Law of Ukraine "On the Protection of Cultural Heritage" (2000) defined the issue of preservation, use and restoration of these valuable objects. Wooden temples are particularly vulnerable, as they are exposed to the destructive influence of negative conditions. Therefore, the problem of accounting and care for these sacred buildings is important and urgent.

Sacred monuments of wooden architecture reflect the ancient traditions of the people and are living witnesses of past eras. They preserve the deep traditions of Ukrainian temple building and national culture. Ukrainian church construction is characterized by a unique architectural and artistic level, a variety of artistic expressions and exquisite forms of church buildings. Despite significant losses during the 20th century, Ukraine remains the world leader in the number of sacred monuments of wooden architecture. Time is invincible for wooden structures, but some of these structures have still survived to this day in their original form.

Very often, the preservation of churches takes place at the initiative of the villagers who want to preserve their spiritual history and architectural heritage.

We will consider the technical condition of the load-bearing structures of one of these churches using the example of the technical condition of the building of the wooden Church of Saint Michael the Archangel in the village of Stanislavchyk, Lviv region (Figures 1 and 2).



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



Figure 2. The facade of the church in axes 1-6.

The purpose of the work: determination of the technical condition of the building of the wooden Church of Saint Michael the Archangel in the village of Stanislavchyk, Lviv region (hereinafter - the church).

The Church of St. Archangel Michael is located in the village of Stanislavchyk, Lviv Region, on the banks of the Styr River. According to Maria Buryak from the

website, the Church was built in 1799 in the Ukrainian Baroque style (information must be documented) (pictures 1 and 2).

The building under investigation is of cult purpose, made entirely of wooden supporting and enclosing structures.

In plan, the church contains an Altar with a throne measuring 6.00x6.60 m (in axes 4-5 and B-D) (Figure 3).

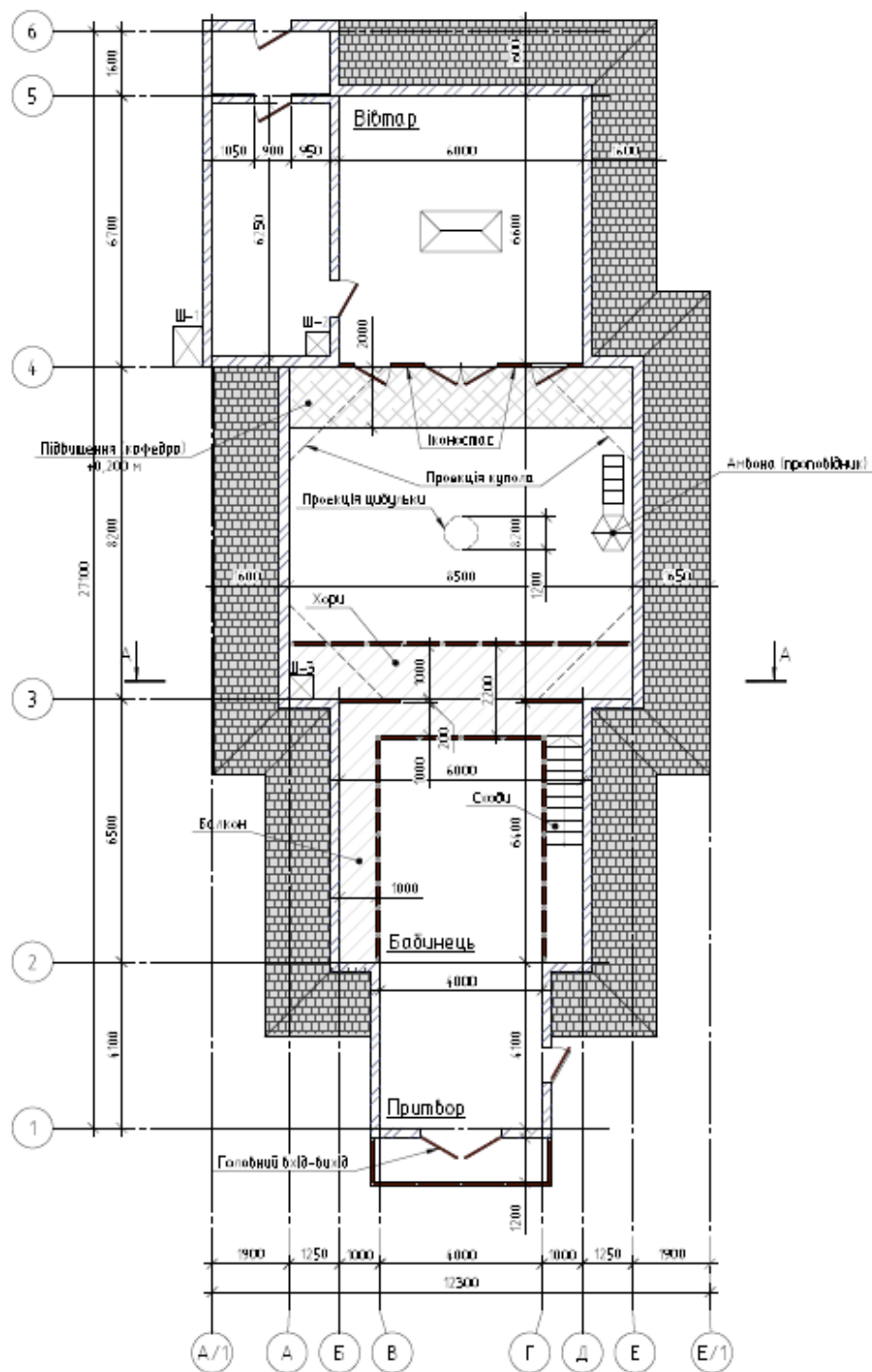


Figure 3. Plan of the church

To the left is the Zachristya with a vestibule measuring $2.90 \times (6.25 + 1.60)$ m (in axes 4-6 and A/1-B), in the center of the nave (main hall) measuring 8.50×8.20 m (in axes 3-4 and A-E) above which the dome is placed (photo 4), behind it is the Babinets measuring 6.00×6.40 m (in axes 2-3 and B-D) in which there is a balcony 1.00 m wide on three sides and stairs to the right balcony (in axes 2-3 and G-D). The balcony along axis 3 turns into Chores with a width of 2.20 m, which overhang towards the Nave by 1.00 m.



Figure 4. Photo of the church from the middle

At the entrance to the church there is a vestibule (narthex, vestibule) measuring 4.70×4.10 m (in axes 1-2 and V-G) which ends with the main entrance-exit under the canopy of the roof, which rests on four wooden columns. Between the Nave and the Altar along axis 4 is a wooden iconostasis). On the right side of the Nave is the Ambon (preacher) (in axes D-E). In Nave, from axis A to axis E along the Altar with a width of 2.00 m and a height of 0.20 m, there is a pulpit. A covered gallery 1.60 m wide surrounds the church on three sides along the axes B-A-A/1-1-4 and 6-E/1-Γ-2.

The structural scheme of the church is a wooden frame, the rigidity of which is ensured by solid wooden (made of beams) longitudinal and transverse external walls

and internal transverse walls, as well as a wooden pull placed on top of the choir floor (Figure 5).



Figure 5. Photo of the church from the middle

Above the nave is an octagonal dome, and above the rest of the church is a tabernacle roof with an outer roofing layer made of painted tin (Figure 6)..



Figure 6. Photo of the dome from the inside

To date, the building is not in use. Dimensional drawings were made during the survey of the church structures. The facades are shown in Figure 7.

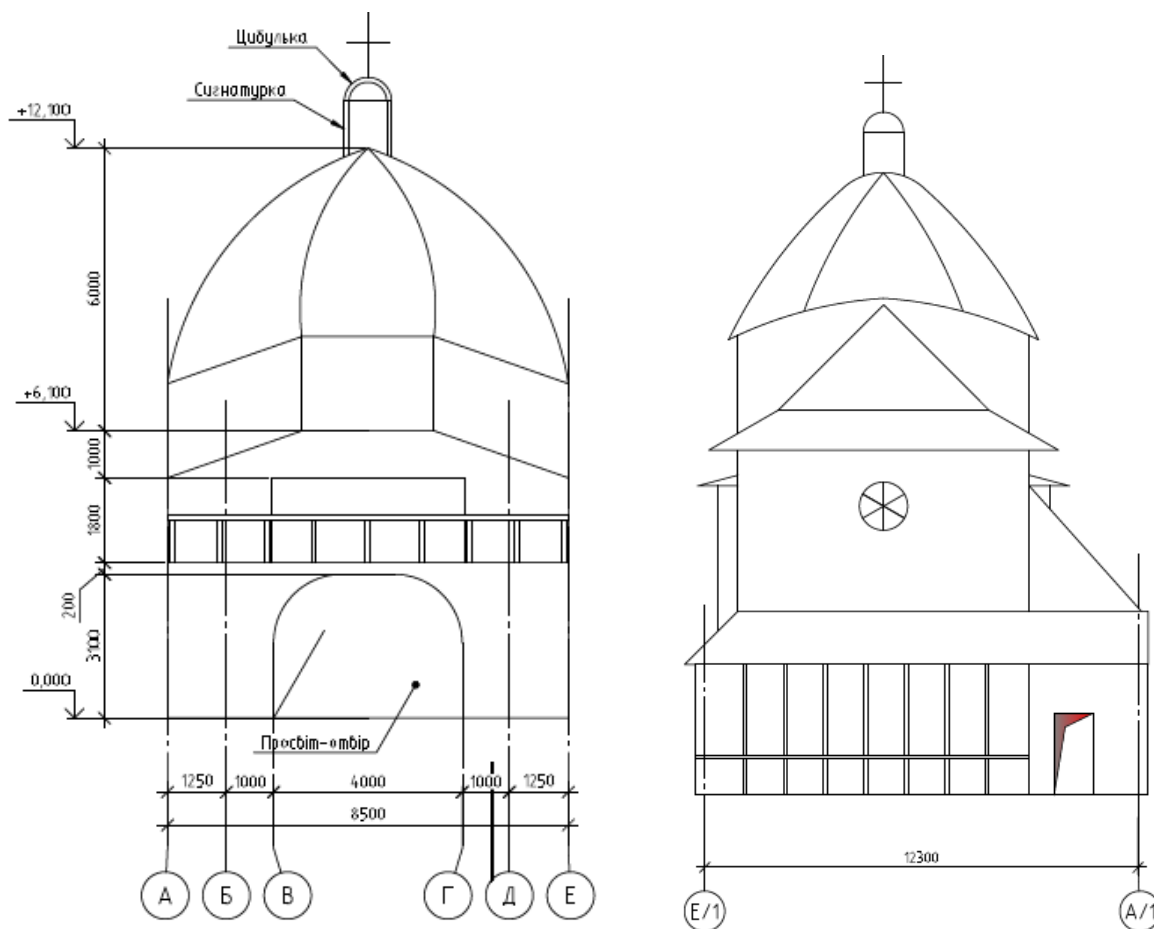


Figure 7. Facade in axes A-E and facade in axes E/1-A/1

Three pits were dug to investigate the foundations.

Three pits were dug to investigate the foundations.

Pit Sh-1 is located outside the church at the intersection of axes 4 and A/1.

As a result of the inspection of the pit, it was established that the function of the foundations is performed by a stone with a height of 450 mm and a size of 400x500...600 mm, located at a depth of 0.65 m from the surface of the earth. The joint of the longitudinal and transverse wooden beams, which served as the basis for the columns and pillars of the church frame and walls, rested on the stone. As can be seen from the photos, reinforced concrete beams, possibly electric poles, with a cross-section of 200x200 mm are adjacent to the foundation stone on the left and right, which may have been used to strengthen the beds and were placed under them. Longitudinal

wooden beams - lying have signs of decay and do not fit tightly to the foundation stone, but only lie on reinforced concrete beams.

Analysis of this foundation shows that it does not fulfill its function.

In addition, there is a large subsidence of the building in this place.

Pit Sh-2 is located in the middle of the church in Zakhrist at the intersection of axes 4 and B at the intersection of the longitudinal and transverse walls. At the intersection of wooden beams - sleepers under the longitudinal and transverse walls, it was found that the foundation is missing. At a distance of about 0.5 m, these beds rest on wooden beams perpendicular to them - logs approximately 350x350 mm in size, which lie on the ground. It can be stated that there is no foundation along the axes of the walls.

Pit Sh-3 is located in the middle of the church in the Nave (main hall) at the intersection of axes 3 and A at the intersection of the outer longitudinal and transverse walls.

The analysis of the condition of the foundations of the church testifies to their state of emergency, or their complete absence in accordance with the norms and rules in force today

The floors in the middle of the church are carpeted, in the Zachrist and the vestibule are wooden. The surface of the floor in the Nave (main hall) and Babyntsi has large slopes, which indicates possible rotting and subsidence of the supporting elements under the solid board floor covering, which in places has traces of rotting. In general, the condition of the floors is unsatisfactory.

The walls A visual inspection of the walls established the following:

- wooden walls have signs of jamming and decay, especially in the Nave (main hall),

- along axes A and E, the walls have deviations from the vertical, which is evidenced by the earlier strengthening of them with the help of additional vertical bars to the entire height under the base of the dome;

in some places there is bending of the walls (possible loss of stability), this is especially noticeable in the transverse wall along axis 3;

THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL, AGRICULTURAL AND APPLIED SCIENCES AS
THE MAIN FACTOR IN IMPROVING LIFE

- due to the lack of horizontal waterproofing, the lower boards of the walls are subject to strong moisture and decay.

In general, the condition of the walls is unsatisfactory.

Dome. A survey of the dome from the middle of the church showed the following:

- in the vertical walls of the dome (the lower part) there are traces of a large lock and the destruction of the decorative layer, possibly due to the decay of the boards;

- on the four angles of support at the intersection of axes 3, 4 with axes A, E, especially above the Chores in the corner inclined elements, their emergency state due to constant moisture was recorded;

- you can see the places of through holes through which sunlight enters the Nava, rain and melt water, birds;

- the windows on the Signaturka and its walls are partially destroyed, which is the reason for the entry of birds into the space of the church, which leave a significant amount of waste products.

An inspection of the dome from the outside of the church showed the following:

- decay and destruction of the covering boards, especially in the A-B axes;

- the absence of a sheet metal roof on a significant part of the dome, which believers covered and partially replaced with geotextile, which also suffered damage over the years of operation;

- the walls of Signaturka are wrapped in geotextile, which also collapsed.

The main shortcomings of the dome listed above indicate its emergency condition.

General comments based on the results of the visual inspection:

- a significant part of the wooden elements and structures of the church have traces of jamming, decay and are damaged by fungus;

- the whole church has an inclination to the side from the vertical in the direction of the north;

- window frames with glazing and all doors are in unsatisfactory condition;

- the covered Gallery around the perimeter of the church is in unsatisfactory condition

condition, especially in need of repair or replacement of its structural elements and roof;

- there is no system for draining rainwater and meltwater from the roof (gutters and downpipes) and water from the church building and its territory;

- there is no fire safety system for the church and bell tower.

Bell tower. In addition, we can say about the state of emergency of the bell tower, in which there is destruction of the board elements of the walls, structural elements of the second floor (loft), stairs, and the state of emergency of the dome (Figure 2).

Based on the results of the preliminary visual inspection, the following conclusions can be drawn:

1. The church building under inspection is in an emergency (4) condition.

2. For the possibility of further safe operation of the church building, it is necessary to prepare a comprehensive project for the reconstruction of the church, taking into account the restoration task.

The main works to be provided by the project:

- perform a detailed instrumental technical survey of the church building and bell tower;

- carry out a project to restore the foundations under the entire church building;

- execute a project to strengthen wooden longitudinal and transverse walls;

- carry out a project to restore the structures of the dome and tent roof with a complete replacement of the roof;

- execute the project of strengthening and restoration of structures and the roof of the Gallery;

- perform work on installation of water drainage systems from the church and from the church;

- perform repair or replacement of glazed window frames and doors;

- repair or replace the floor.

3. The belfry structure under inspection is in an emergency (4) condition.

4. It is necessary to carry out work on streamlining the legal status of the church and its registration with the relevant state authorities and BTI.

5. It is advisable to carry out a study of the church for its historical and cultural value as a monument of Ukraine with the participation of restorers, and possible implementation of a restoration project.

Summarizing the survey of the wooden church structures considered above, it can be stated that this issue is very important and urgent, and requires the support of the state and public organizations to preserve the spiritual, architectural and historical heritage of Ukraine.

2.2 Composite radiation-shielding concrete for special purposes

Systems of engineering-technical solutions, aimed at creation of the suitable sanitary-hygiene conditions for the operation of nuclear energy units provide the installation of the protection barriers in the form of the radiation-absorbing coating and special screens. The aim of the radiation protection is the prevention of the somatic and reduction to minimum somatic-stochastic genetic effects, caused by the impact of the external and internal radiation of both separate person and population on the whole in the process of operation, storage and transport of the radioactive substances, operation of nuclear reactors, X-Ray units and other sources of radiation.

World experience shows that in the process of construction of the nuclear engineering facilities, nuclear waste repositories, construction of civil defense objects various concretes are widely used. For the construction of the nuclear facilities, repositories, containers for nuclear waste in domestic and foreign practice ordinary concretes are used. Such material consists of the elements with small and mean atomic weights (second group), which are used for shielding the direct and indirect- ionizing radiations. In separate cases installation of the biological protection by means of cement concretes on the condition of the increase of the thickness of the protection shield is more efficient than metal and lead water shielding [27-32].

The possibility to use heavy concretes as the construction composite materials of biological protection is provided due to the accessible technology of the raw mixture composition regulation, which enables to use the conventional binding systems by the main components. Regulation of the radiation-protective properties is realized as a result of usage of the special fillers, able to enter physical-chemical interactions with the binding component as a part of the forming specialized construction mixtures [33-36]. Usage of the chemical elements with various ordinal numbers in the concrete enables to optimize and interconnect mechanical, physical and special protective properties against ionizing radiation [37-38].

Application of the fine metal powder (waste of the machining production) as heavy concrete filler is the result of obtaining new kind of concretes on the base of

mineral binders – electric conducting metal-saturated concrete. From the point of view of the researchers investigating the microstructural processes of the disperse-filled mineral matrix structures formation the obtained composite material is a complex interpenetrating heterogeneous system, the properties of each element of this structure differ. Hardened newgrowths of the binding system is a dielectric matrix and reaction-able metal powder is electric conducting component of the material. As a result of the uniform distribution of the metal particles in the matrix array, the structure of the cement brick is formed, the given structure is the analog of the cement concretes with mineral disperse additives. The improved adhesion between the particles of the heavy electric conducting filler and binding components of the mixture, coincidence of the linear deformations of the cement brick and metal, wide range of electric resistance are the result of the obtaining of the composite material with wide range of the constructive and physical mechanical properties, improved heat transfer.

Artificial synthesis of the dense structures of the disperse-filled conglomerate with large area of the internal surface of the phase distribution will also influence the weakening of the penetrating fluxes of the shielding material. As the volume electric conducting matrix is formed in the structure of the metal-saturated fine disperse concrete and photonic electromagnetic radiation, according to the laws of the quantum physics has wave and corpuscular properties, then the absorption of the radiation in the structure of the material will occur by the excited in the volume of the electric conducting matrix counteracting field and at the expense of the repeated reflections and scattering of the radiation flux on the surface of the disperse metal filler. Saturation of the cement binder with the metal powder and formation of the iron-containing hydraulic silicates with the elevated content of the constitutional water will approach the obtained concrete by special properties to the multilayer metal water shields [39-41].

As a result of the impact of the ionizing radiation on the materials of the radiation protection shields structural and chemical changes take place in these materials, accompanied by the decrease of physical and mechanical properties [42-43]. The volume of these changes depends on the type of the material and component and energy

structure of the radiation, that is why, at high intensity of the radiation and its long duration the designers face the problem of the development of the radiation- protection concretes.

Addition of the steel fillers to the concrete leads to the improvement of its radiation-protective and physical mechanical properties but depending on the kind of geometric forms, content of the fillers and its chemical composition. Mechanical properties of the concretes on the scrap steel are worsened as compared with the ordinary concretes, although without particular complications the material with the volume weight of 5.4 t/m^3 can be obtained. In [44] it is shown that the usage of the waste of milling of the coarse aggregate and cast-iron shot as small filler enables to obtain density of 6.8 t/m^3 .

In research [45-47] the authors suggested the usage of the machining waste (metal slurry) for the obtaining of the new kind of the concretes with the polyfunctional properties. Fine disperse ShKH-15 steel slurry is obtained as a result of complex technological process of balls fabrication at ball bearing plants. The components of the process are cold forging, high speed mechanical peeling, carbide grain grinding, quenching, tempering , solid grinding, finishing and polishing. In the process of manufacturing moist junk removal of the waste by the turbulent flow of the lubricating-cooling fluid is used. Characteristics of the sludges powder depends on the manufacturing process, technological characteristics of the operations of which influence the mechanical properties of the powders and their dimensions (Table 1).

Depending on the method of the waste storage they may differ by the content of the oxide inclusions. Metal powders, used directly from special settling tanks where they are removed by the flux of cooling fluid during manufacturing operations, are characterized by small degree of oxidation. When metal waste from the disposal area is used (storage in the open air), such fillers are characterized by considerable metal oxides inclusion, formed in the process of long storage. Traces of lubricating-cooling fluids on the surface of the particles of metal powders is common for these two kinds.

Table 1

Characteristics of the sludge waste of ShKH-15 steel [48-51]

| Components of the lubricating-cooling fluid for the technological operations of the metal working | C _{Fe} , % | | d×10 ³ , kg/m ³ | 5×10 ³ , m ² /kg | r _{max} ×10 ⁻⁶ , m |
|---|---------------------|--------|---------------------------------------|--|--|
| | Output metal | Powder | | | |
| 1. Balls rolling | | | | | |
| Emulsion on tall oil, sodium carbonate, sodium nitrate. | 60.1 | 90.5 | 5.9 | 0.7 | 45.0 |
| 2. Balls grinding | | | | | |
| Diesel fuel, stearine. | 75.0 | 83.7 | 4.5 | 1.0 | 7.5 |
| Water, triethanolamine, sodium nitrate. | 29.4 | 85.4 | 5.0 | 1.5 | 10.0 |
| Water, sodium carbonate, sodium nitrate. | 54.0 | 89.5 | 6.7 | 2.0 | 15.0 |
| Water, sodium carbonate, sodium nitrate, sodium phosphate. | 80.5 | 95.4 | 7.2 | 0.5 | 27.0 |
| 3. Path grinding | | | | | |
| Emulsion, triethanolamine, oleic acid. | 23.0 | 66.0 | 4.2 | 0.6 | 35.0 |

For the usage of the metal waste as the concrete fillers it is necessary to apply additionally the technology of tertiary treatment, which can be realized by means of two operation processes: annealing without the access of oxygen at + 500 ÷ 700⁰C or washing of the traces of the cooling substances in alkali water. It is expedient to use metal powders (waste of ShKH-15 steel) as concrete filler on the base of mineral binders for the production of radiation-protective shields from the open disposal areas, i. e., with the oxidized metal surfaces. High content of oxygen on the surface of the oxidized layer of metal powders at the contact with the binding element may cause the formation of elevated content of the chemically bound water [52-54].

Basic technologic parameters which further will influence physical, mechanic and operational properties of new type of cement concretes with metallic fine disperse fillers will be indices of the quantitative ratio of the raw mixture components. Among these parameters water flow, consumption of binding, additives and metal powder content are main parameters. These formulation- technological parameters will influence physical, mechanical and rheological parameters of the formed solutions – mobility of the conglomerate mixture, volume weight and strength of the studied samples, technological modes of the products hardening.

From the point of view of the radiation protection properties of the metal-

saturated concrete, main functional component is fine disperse filler which is metal powder in laminar or husk-like form with average size of 0.02 mm. As a result of such form of the dump waste of metal working productions the cavitation of the metal slurry reaches 75%. In the research metal, cleared from the traces of the lubricating-cooling fluids by means of washing in the alkali solution at the temperature of +50°C was used. Real density of the dried powder equals 6.76 g/cm³, and bulk density – 1.31 g/cm³. In [55] authors determined that after the vibration during 3 – 4 minutes the bulk density of the cleaned powder increases to 2.76 g/cm³.

The criterion of the concrete density is interpenetration of the binding element and disperse filler, which depends on the number and the character of the pores of the formed structures. Main kinds of pores in fine disperse metal-saturated concrete will be cavities and pores in matrix body of the cement stone and material in general, which were formed as a result of mixing and arrangement of the mixture. Small pores and capillary (1÷50 µc) will be formed between the grains of the cement brick and filler, formed as a result of the evaporation of the structural and porous unstable-bound water of the newgrowths. Micropores (5–20 µc) of the hydrated helium shells, which appeared as a result of the contractional phenomena in the process of the hydration of the mineral binding may be referred to the type of micropore looseness. In the fine-grain metal -saturated concrete the porosity is caused by the form of the particles of metal fine-disperse filler, their aggregation into the floccules in the presence of water [56-61].

Studies of the impact of the formulation -technologic parameters on the properties of the forming solutions were carried out for the metal-cement mixtures and for the solutions with the addition of fine fillers. Fine-disperse metal-saturated composite material should be considered as the concrete with microfiller. In the given case metal powder and mineral binding may be considered as an integral unit – metal-cement paste. The cement activity and its impact on the water content in the mixture will depend on the content and properties of the disperse heavy filler. Powders of ShKH-15 steel due to large specific surface ($S_{\text{spes}} = (0,5-2) \times 10^3 \text{ m}^2/\text{kg}$) and high hydrophilic property increase the water need of the mixture (Fig. 1). As a result the

porosity of the material increases due to the excess water, that does not participate in the hydration of the mineral binder.

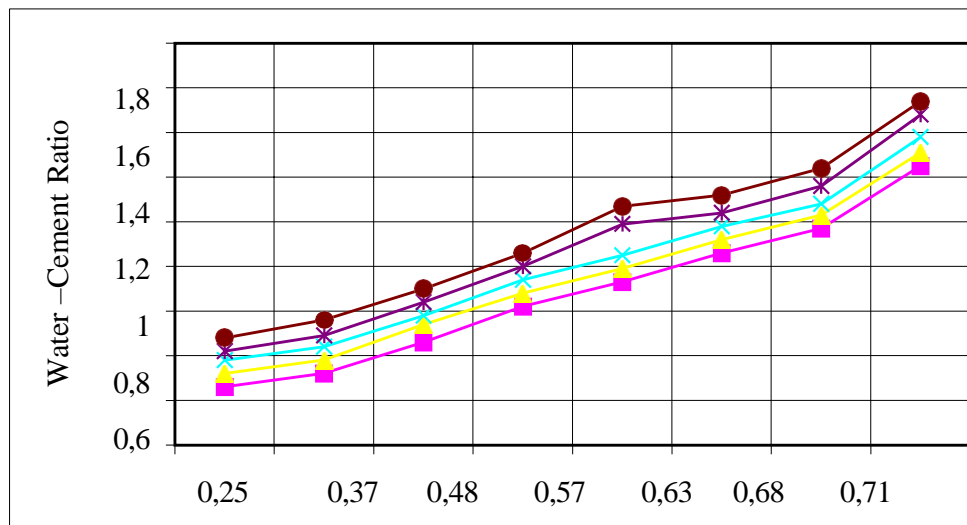


Fig. 1. Impact of the metal filler content on the water needs of the mixture samples: 1 – small come spread on the shaker apparatus 101 – 108 mm; 2 – the same 112 – 122 mm; 3 – the same 126 – 133 mm; 4 – the same 144 – 149 mm; 5 – the same 158

From the materials of the graphic interpretation of the results of the experimental studies, shown in Fig. 1, it is observed that with the increase of the metal microfiller concentration in the mixture water needs of the formation solutions increase at the determined limits of rheological parameters of the fine grain concrete samples. The impact on the mobility of the studied samples of the metal- saturated mixtures of the quantitative ratio of the components at the preset indices of water-solid ratio is observed. Technology of the shielding coating manufacture from pourable metal-saturated mixtures will lead to the obtaining of the units with high indices of the structure porosity that further will negatively influence radiation-protective properties of the material.

The results of the experimental studies of physical-mechanical characteristics of the metal- saturated samples, manufactured applying the technology of plaster coverings show that the amount of the metal powder in the composite material influences differently on the average density index of the sample. With the saturation of the cement brick with the dispersed metal, the density of the samples increases from 1.73 to 2.04 g/cm³. Specific content of the metal filler is within the limits from 0 to

36% of the mass. Further as the content of the microfiller in the structure of the cement brick increases, the index of the average density of the samples gradually decreases and equals 1.62 g/cm^3 at the concentration of the heavy filler 80% of the pts [62 - 64]. It is explained by the high porousness of the steel ShKH-15 powder and correspondingly, considerable water needs of the solution for the set mobility.

Addition of the dielectric filler to the composition of the formation solutions, manufacturing according to the technology of the plaster covering of the mineral filler – glass sand leads to the growth of the average density indices of the samples structure as the amount of the metal powder increases to 30%. As the porousness of the sand on average is 36%, it is obvious that the increase of the amount of the metal cement paste results in the separation of the particles of the dielectric filler and increase of the material porosity. Further increase of metal concentration to 50% results in the decreases of the samples density up to 1.8 g/cm^3 [65-67].

Usage of the mechanical impact on the formation of the samples-models structure of the radiation-protection shield with fine grain metal -saturated concrete (rigid mixtures) by the means of static pressure of 20 kg/cm^2 , results in the increase of the average density of the samples of pressed tiles as compared with the products, fabricated, applying the technology of plaster coverings. Under the impact of the compaction the removal of the free water occurs and the rigid fixation of the metal particles in the hydrated matrix of the mineral binding material is carried out. When the cement binding is saturated with the microfiller to 56% the average density of the samples is 2.6 g/cm^3 , for the models of the plaster coverings at the same concentration of the heavy filler the value of ρ_m is 1.76 g/cm^3 . [68-70]. As the amount of the metal powder increases to 86% the density of the sample decreases to 2.28 g/cm^3 . The addition to the mixture of the coarse dielectric filler also by analogy with the plaster mixtures changes the value ρ_m of the samples. Coarse particles of the sand in the process of mixture preparation destroy the aggregates of the metal particles. As the concentration reaches 80% the average density of the samples equals the maximum value – 2.87 g/cm^3 [71-73].

The conducted studies confirm the possibility of installing a radiation protective

coating both by the technology of performing plastering works and by making a screen from prefabricated elements - pressed tiles. Analyzing the processes of attenuation of ionizing radiation by protective screens, it is quite obvious that it is possible to increase the efficiency of attenuation of ionizing radiation for pressed samples [74-77].

One of the technological methods of increasing the density of the structure of the samples of the radiation-protection coating made of the fine grain metal-saturated concrete may be the application of the surface-active additives in the content of the mixture. To decrease the amount of the excessive water, caused by high hygroscopic property of the metal filler in the process of mixture preparation it is expedient to use plasticizing agents.

The precondition for the availability of special radiation-protection properties of the obtained concrete samples can be explained after the analysis of the ionizing radiation weakening in the process of the interaction with the absorbing substance as it gradually penetrates across the thickness of the material. That is, at the expense of filling of fine grain cement concrete with the dispersed very heavy filler, the density of the composite increases. Saturation of the cement binding with metal powder and formation of iron-containing hydrosilicates with the elevated content of chemically bound water approaches the developed composite material by special properties to multi-layered metal-water shields (attenuation of the mixed n and γ – radiation) [79].

Technological parameters of the fabrication of fine -grain radiation-protection concretes are provided by the usage of the metal powders as the filler. The ability of the metal -saturated concrete to shield ionizing radiation can be explained by the creation in the structure of the composite volumetric electric conducting matrix as a result of filling the binder with fine-disperse conducting component. Such material has large phase boundary surfaces, on the microscopic level this can be considered as the analogy of the multilayered constructions of the barrier protection in the form of variotropic screens.

Cement concretes are referred to the second group of the radioprotection materials. Their physical chemical composition contains elements with small and mean ordinal number. Average density of the obtained samples is $2,0\div 2,9$ g/cm³.

Construction materials, manufactured from the metal-saturated concrete by their radiation-protective characteristics occupy the intermediate position between the aluminium screens and protective barriers, made of lead (Table 2).

Table 2

Linear coefficients of attenuating γ -radiation of the available protective materials [76-79].

| Material | ρ , g/cm ³ | Energy of γ - quanta | | | | | | |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 0.2 MeV | 0.4 MeV | 0.6 MeV | 0.8 MeV | 1.0 MeV | 1.5 MeV | 2.0 MeV |
| Aluminium | 2.56 | 0.32 | 0.25 | 0.20 | 0.18 | 0.16 | 0.19 | 0.12 |
| Concrete | 2.35 | 0.291 | 0.224 | 0.189 | 0.166 | 0.149 | 0.122 | 0.104 |
| Lead | 11.3 | 10.7 | 2.44 | 1.33 | 0.95 | 0.77 | 0.66 | 0.56 |

Designing biological protection against ionizing radiation it should be taken into account, that along with special properties the materials of the shielding constructions must meet a number of the requirements for the conventional construction materials. In the production process the technological procedures of barrier protection manufacturing must be strictly observed.

From the results obtained and presented in the study the conclusions can be made that depending on admissible thickness of the protection screen radiation-protective concretes can be used as the monolithic plastering or as the preassembled covering, made of the pressed tiles. It is quite obvious that the efficiency of the ionizing radiation attenuation will prevail in the pressed samples but the problem of the tiles butting must be solved to eliminate the possible “shooting” of the radiation fluxes between the tiles.

The regulation of the formulation-technological parameters of radiation-protective concretes, using fine-disperse metal filler in the structure of the material and creation as a result of physical chemical interaction mineral binding and reaction-able metal filler of the volume heterogeneous matrix in the form of variotropic structures in the body of the manufactured screen provides obtaining by the composite material elevated screening properties.

2.3 Factors in the formation of landscaping elements in an urban multi-apartment residential environment

The living environment is the basic point of reference in the system of human relations with the surrounding world - the planet, place and other people. Despite competent planning decisions of apartments or good quality of construction, if the living environment is neglected or poorly organized, life in the city will not give a person the desired level of comfort.

In the conditions of rapid urbanization and depletion of resources, the main task of the architect is to find effective ways to use the limited amount of space and thus increase the effectiveness of construction. Despite the trend of increasing building density and population density, today there are already many examples in the world of how the demand for density can be harmoniously combined with care for people. One of the ways to improve the quality of the urban living environment is the introduction of landscaping elements. These elements include parks, farms, gardens and orchards, eco-corridors, landscaped courtyards, landscaped front gardens, and landscaped courtyards. They began to develop from the earliest times as a component of traditional city planning based on the principle of life – space – buildings. At different stages of the functioning of cities, some elements of landscaping declined, others developed, but landscaping always followed a person - his place of residence, work or recreation, forming a direct connection between the quality of the living environment and the comfort of life in the city.

The purpose of the publication is to determine the potential of landscaping elements in the system of influencing factors on the formation of the urban environment of multi-apartment residential buildings in the context of harmonizing human life.

As a result of the urbanization processes of the 20th century there is a chain reaction of problems that change the nature of human interaction with the living environment. The need for housing for a large number of new citizens has caused the densification of buildings, shifting the emphasis of architects from the design of a

complete urban environment to the construction of individual multi-story buildings, the space around which is often inert and does not carry a functional meaning. In turn, providing people with goods and services is related to the need for the economic growth of cities, which at the same time increases the pressure on the ecosystem, because it requires consumption and emissions of global resources. These physical changes in the environment prompt a person to have an intuitive internal reaction - the feeling of being trapped in the streets, which changes from anxiety to anger and transforms into the concept of sensory overload of the brain (Gehl J., 2010).

Considering this, it is possible to distinguish the following factors that influence the formation of the urban residential environment - urban planning, economic, ecological, socio-psychological.

Urban planning factors

1. Reducing the disadvantages of excessive building density. Taking into account the fact that no more land will appear in either new or existing buildings, an alternative way to improve the quality of the environment is the introduction of landscaping elements at all structural levels of human interaction with space (Fig.1, Fig.2).:

- a. at the «human-private apartment» level - balconies, loggias, winter gardens;
- b. at the «human-building» level - greening of transit and passage areas of horizontal communications, bridges-transitions between buildings, green roofs;
- c. at the «human-courtyard» level - terraces, patios, entrance groups;
- d. at the «human-street» level - front gardens, entrance groups from the street side, eco-corridors, vertical greening of blank wall planes;
- e. at the «human-district» level - city gardens and farms, green squares, parks, etc



Figure 1. A green roof of a community center in Singapore as a visual attractor for residents of neighboring buildings (González M.F., 2019)

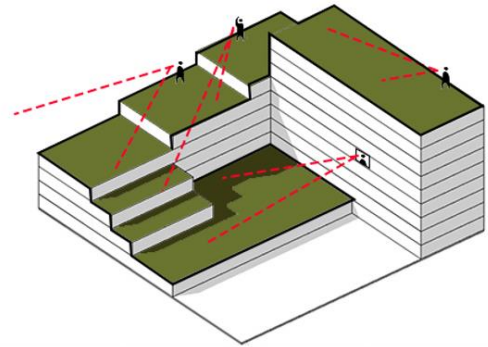


Figure 2. Use of the entire potential of the high-density building (the author's scheme)

2. Functional enrichment of the environment. The analysis of the existing level of improvement of the territory (determining the ratio between open and closed space, structuring the environment according to the level of interaction with people, identifying the functional content of the environment) forms the general concept of the urban farming in a certain part of the city. In accordance with this, it is possible to form three areas of design solutions for landscaping elements: 1. design of new landscaping; 2. revitalization of the existing neglected environment (Fig.3); 3. rethinking the underutilized environment - filling the existing landscaping with functions (Fig.4).



Figure 3. Modular urban farms on the streets of Brooklyn, USA as a new feature to existing landscaping (Harrouk C., 2020)

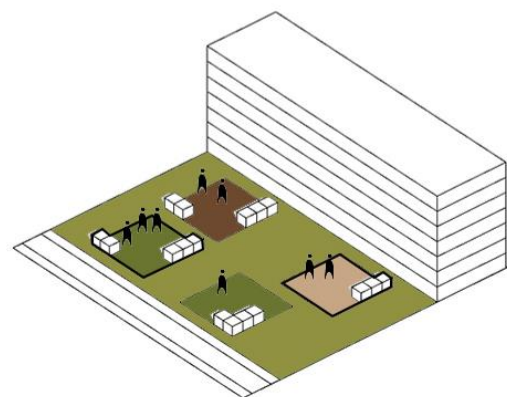


Figure 4. Activation of inert areas (the author's scheme)

In conditions of dense construction, the layering of functions within one building is extremely important. The active functional filling of the first and last floors gives the part of the housing the characteristics inherent in individual building (Sim D, 2019). For example, at the street level near food establishments or shops, the landscaping element uses the urban environment as an additional commercial space and provides fresh food directly to the table, near public services - it softens the connection with the street and allows institutions to be located closer to their users, near the exhibition halls - activates the street facade at eye level, which encourages passers-by to linger longer (Fig.5, Fig.6). In turn, the green roofs with a view of the surroundings integrate the tall building into the lower environment - they form common spaces with a lawn, summer terraces, places for barbecues, etc.



Figure 5. A farm-to-table restaurant in Paris, France (Harrap C., 2019)

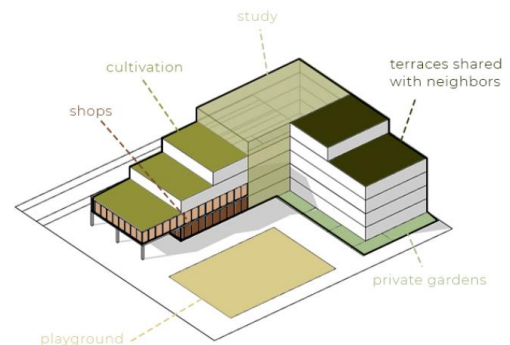


Figure 6. Mixed-use greenery (the author's scheme)

Economic factors

1. Small business support. Landscaping elements provide an opportunity to engage residents in farming activities, which provides the potential to create a co-housing unit or commercial component within a home, complex or residential group. The components of such landscaping elements are premises for cooking, packaging and storage of grown products, as well as places of sale - for example, catering establishments, shops, fairs, etc. This entails the creation of additional jobs - from gardeners to drivers, salesmen, managers, etc., and also it provides young people with business and retail skills (Sim D, 2019).

2. Expansion of the range of market offers. The introduction of landscaping elements correlates with the increase in housing value by providing various needs of daily life and creating more spaces for different types of activities:

a. Housing with a commercial agrarian element. The first option is to designate all housing in the building for employees, on the 1st floor - commerce, where the grown is sold. The second option is the cohabitation method: employees come to work in a residential complex with an agrarian element, but do not live here, that is, residents and employees are in the same volume of the building, but their paths do not cross (Fig.7, Fig.8).



Figure 7. A commercial landscaping element as part of a residential complex in Toronto, Canada (Toneguzzi M., 2017)

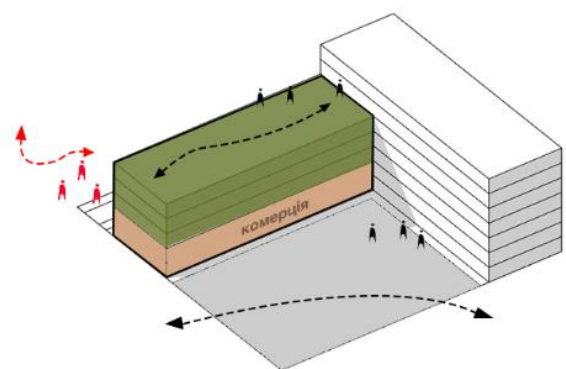


Figure 8. Separation of flows of residents of the building and workers (the author's scheme)

Under such conditions, the following recommended economic models of housing with autonomous urban farms can be identified: 1) the initiator-community, which, through special intermediary organizations, submits a request to the city to lease the territory and is looking for an investor. 2) an investor-agricultural organization that leases territory from cities and uses it independently. 3) an investor-interested organization from adjacent areas (market, supermarket, etc.), which provides part of its territory for production and uses the received resources for further trade. 4) an investor-city that creates municipal programs to support the city economy, for example, a tax reduction for developers if they have a green roof (and in some cities, buildings of a certain area receive the right to build only if they have a green roof), grant programs for environmental solutions etc. The most often used economic model is the city-intermediary-producer cooperation system. The intermediary determines suitable

areas for farming (mostly on roofs), rents them, then transfers them to private owners, the practice of holding competitions for the best project is also common, and later supports them at the stage of implementation.

Due to the fact that Ukraine is only at the first stage of the development of modern horticulture, the agreed financing system is still in question, the legislation defines only that landscaping in cities should be covered by the local budget. In foreign practice, initiatives from the community (membership contributions, crowdfunding), investments by private entrepreneurs, charity (both from specific individuals and schools, churches, public organizations, etc.) and city funds are used.

b. Housing with a partially commercial agrarian element. A common worldwide practice is the system of shared use - this is a program regulated by the city government, with the help of which a landowner can rent out his private yard. The landowner and the interested gardener can agree informally, for example, the gardener pays rent, gives part of the grown products or part of the proceeds after the sale, and specially created organizations can be responsible for regulating their relationship.

c. Formation of a sustainable food system in the city. If we consider urban greening as a part of the city's economic system, the creation of programs that would give cities an impetus to self-sufficiency - for example, a network of individual producers, united official organizations, sales markets (trade and catering establishments) and the city government itself, is of particular interest. Thanks to this, the city becomes less vulnerable to global economic problems, achieves a certain autonomy within the country, and the load on its central infrastructure decreases.

Ecological factors

1. Balancing climate change. Global climate change has caused the city to heat up. This is enhanced by the features of the city itself and its favorite materials - asphalt, concrete, metal - which during the day under the influence of solar radiation not only heat up, but also absorb so much heat that they release it even after sunset. Urban greening reduces the impact of dense construction on natural processes, providing better control and stability of the environment. Green plateaus – courtyards, green roofs, green corridors – create a microclimate different from the microclimate of the

surrounding streets: the resulting temperature difference stimulates natural ventilation and mitigates the heat island effect (Speck J., 2018).

2. Physical and psychological rehabilitation. Regulating the microclimate is a key factor that encourages residents to spend more time in the fresh air - walking in the yard or tending to their own patio. The creation of green barriers protects against noise from the streets and harmful emissions, forming a number of advantages for daily human comfort - from the ability to sleep with an open window and hanging laundry in the yard (Fig.9).

3. Recycling of waste, water and energy. The strategy of sustainable development assumes that each generation must leave the world to posterity in the same state as it was received - or in a better state. The modern global practice of introducing innovative technologies into the system of urban landscaping (hydroponics, aquaponics, aeroponics) makes it possible to save and reuse resources by creating a closed production cycle. On a large scale, several urban gardens or organizations exchange waste for their reuse, on the basis of which they form "agricultural parks" - a united ecological urban network (Fig.10) (Speck J., 2018).



Figure 9. The residential complex for the elderly in Singapore with innovative technologies for growing plants (Rosenfield K., 2014)

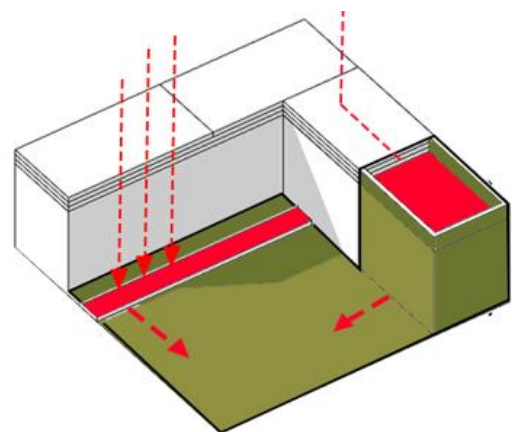


Figure 10. Reuse of resources and a closed cycle of production (the author's scheme)

It is recommended to adopt the permaculture approach as a basic approach to urban management. It is formed by a set of used methods of urban management. The system of conducting urban agricultural production can be called permaculture -

permanent (sustainable) farming. The basis of permaculture is the concept of sustainability - ecological (self-regulation and self-reproduction, staying in balance, etc.), economic (bringing predictable profit and resistance to external economic troubles) and social (creating a community).

Socio-psychological factors

1. Modeling the flow of people. People "intuitively" know how to move, but arbitrary buildings can destroy these habits. Such a strategy only works when the environment is a safe, easy and intuitive place where people know how to behave, what to expect and how to navigate. In order to reduce the number of "strangers" in the courtyard, landscaping elements should be designed so that, without psychological pressure, people are forced to move only in certain areas of the territory. Outsiders can see these zones, but their organization makes it clear where private territory is and where it is shared (Newman O., 1972).

Completely enclosed gardens, terraces and balconies help to isolate the residents of the 1st floor from the active life in the yard and street traffic. Landscaping creates additional controlled open spaces that provide privacy and security. At the same time, the selection of a "buffer" zone between the pedestrian paths and the windows of the first floor can protect from prying eyes and make it difficult for outsiders to approach the windows and other elements of the building. These spaces prevent noise, odors and clutter, saving neighbors from potential sources of annoyance.

Modeling the flow of people leads to the concept of structural stratification of space – a defined hierarchy of territory with areas of shared access in larger areas outside the blocks, where people from all over the city gather, and smaller, more private areas, inside – for local residents. Each of the types of use of space encourages different types of activity and behavior.

2. Creation of a holistic environment. In the perception of space for the human psyche, it is important to choose the simplest way and combine everything that falls into the field of view into a single picture. Thus, the introduction of landscaping elements requires the search for the integrity of mood, purpose, form and materials. For this, composition techniques are used - rhythm or meter, statics or dynamics,

symmetry, asymmetry or randomness and their possible combinations. For example, an agrarian element on children's playgrounds can complement the dynamics and be an element of play, while the elements of landscaping in the dining area of the courtyard tend to be static. At the same time, the concept of depth appears in the space, and with it, perspective, angle of view, openness or closedness, compactness or distraction. A green terrace on the 3rd floor will not have the same visual effect for its owner, for a passerby who sees it from street level, for a resident of a neighboring house who sees it from a window (Fig.11, Fig.12).



Figure 11. Achieving architectural expressiveness by landscaping terraces in a residential complex in Vienna, Austria (Hidden architecture)

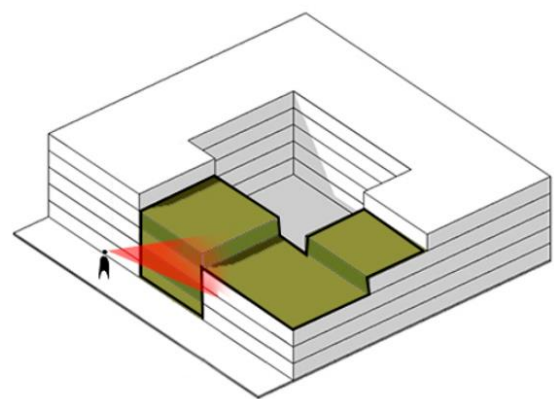


Figure 12. Creation of the green accents (the author's scheme)

An agrarian element can be an accent or reference point, a spatial border, a space separator or a background. A strong dominant can be an axis, for example, an eco-corridor, as well as points of intersection of axes and their completion. Transitional spaces are also important: for example, when a building is formed near an existing forest, the layout of the block closer to nature will become less regulated. It is the same situation when the urban environment determines how we organize landscaping: for example, creating an urban garden next to a square will mean that as you approach the edge of the square, the natural character of the garden will become urbanized (Fig.13, Fig.14).



Figure 13. Adding green facade to the existing landscaping of the office building in Ho Chi Minh City, Vietnam (Abdel H., 2023)

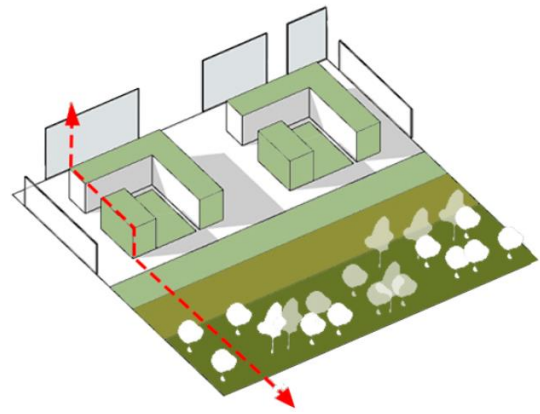


Figure 14. Creation of the transitional spaces (the author's scheme)

3. Communication and cooperation. The structuring of the inter-house space due to various elements of landscaping contributes to the creation of an ecological community as a vector of communication between residents who will take care of their area next to neighbors, children, parents, etc. In turn, this gives children the opportunity to get a safe place to play and study (Jacobs J., 1961).

4. Feeling of safety and security. The agrarian element creates a space that ensures the psychological safety of a person and protects his consciousness based on the preservation of the connections between the living environment and the person formed in the course of human development, social security, which directly means a feeling of protection from crime, violence and chaos, as well as a sense of a person, that it is part of society and has the opportunity to exchange information and energy (Newman O., 1972). Green cells form residents' sense of belonging to a given place, and thus simulate a collective security system.

As a summary, it is determined that today urbanization is not an obstacle, but a new opportunity for architects to make cities work more efficiently. How many people will be comfortable living together depends on a combination of factors that influence the formation of the residential environment - urban planning, economic, ecological and socio-psychological. Based on the principles of sustainable development, the main vector of architects' response to these factors is the consideration of human needs in

building plans, and one of the practical mechanisms is the introduction of landscaping elements into the system of the residential environment.

The result is the emergence of new principles of urban space use: the combination of building density with the density of human scale, ecological sustainability with a variety of functions, clear structuring with flexibility and adaptability of the environment. This approach to designing the environment changes the perception of space and leads to a general revitalization of life in cities. Having more meaning to spend time outdoors, people not only use the environment more actively, but also gain a sense of ownership and control over what surrounds them. At the same time, the probability of meeting other people increases, which contributes to the social and economic diversity of the neighborhoods, and thus to the cohesion of the community.

2.4 Підтримує житло у житловій політиці країн ЄС та США і його перспективи для України

Підтримує житло (Supportive housing) – це різновид субсидованого житла з підтримкою людей, яким загрожує залишитись бездомними [92]. Ці помешкання передбачають поєднання послуг та житла, метою їх створення є допомога людям у скрутних життєвих ситуаціях. Підтримує житло може вирішувати проблеми людей у різних ситуаціях, забезпечуючи їм стале та безпечне місце проживання та додаткову підтримку [93, 94, 95, 96]. Спрямоване таке житло на підтримку, захист та допомогу громадянам для виходу з кризових ситуацій, таких як насильство в сім'ї, економічні труднощі пов'язані з втратою житла, люди, які стали жертвами природних катастроф, конфліктів або інших негативних подій. Підтримує житло необхідне людям з фізичними або розумовими вадами, наприклад аутичного спектру, які потребують пристосованих умов для забезпечення доступності, інклюзивності та спеціалізованого нагляду. Серед цільових споживачів підтримуючого житла також можуть бути люди похилого віку, які потребують послуг соціального догляду.

В Україні зараз відбувається низка змін у соціально-економічній структурі, що пов'язані з систематичним скороченням послуг в закладах соціального захисту, а також втрата житлової інфраструктури в результаті активних бойових дій. Все це підсилює потребу у розвитку підтримуючого житла як структурного елемента житлового фонду.

Концепція створення підтримуючого житла в Україні є відносно новою тенденцією, його специфіка вимагає багатостороннього дослідження – у галузі економіки, соціології, архітектури тощо. І, якщо у закордонній практиці ми можемо спостерігати дослідження, що відкривають розуміння потреб та проблем людей, які потребують підтримки у забезпеченні житла, а також на розробку ефективних моделей та програм, ініційованих різними організаціями,

академічними дослідниками, урядовими агентствами та фахівцями з соціальної роботи [93, 94, 95], то в Україні таких досліджень дуже бракує.

Перші програми підтримуючого житла з'явилися в середині 20-го століття в розвинених країнах, таких як Сполучені Штати, Велика Британія та Канада. Ці програми спочатку були спрямовані на надання житла особам з психічними розладами, які раніше були інтерновані в психіатричних лікарнях, але потім потребували більш самостійного проживання в співтоваристві. Перші будівлі підтримуючого житла зазвичай були великими і масивними, розташовувались на околицях міст або в окремих районах. Ззовні вони нагадували інтернати або психіатричні лікарні того часу, призначалися для надання проживання людям з психічними розладами або іншими видами обмежень, які раніше були інтерновані в психіатричних закладах, але тепер мали можливість проживати більш самостійно. Ці будівлі зазвичай мали спільні житлові приміщення, а також зони для проведення реабілітаційних програм, навчання та медичного обслуговування [94, 95]. Однак з часом концепція підтримуючого житла еволюціонувала, і сучасні програми та заклади, які надають підтримуюче житло, намагаються створити більш інтегроване та соціально-орієнтоване середовище для своїх мешканців. Тепер це можуть бути звичайні житлові будинки або апартаменти в звичайних міських чи сільських районах, де мешканці отримують підтримку у вигляді необхідних послуг та ресурсів для створення більш самостійного та повноцінного життя.

Досвід США формування інфраструктури житла для людей у скрутних ситуаціях висвітлює дві основні концепції щодо розташування підтримуючого житла в межах міст: конгеративна та розосереджена. Концентрована або централізована модель розташування характеризується об'єднанням житлових приміщень із приміщеннями, що забезпечують функціонування та обслуговування житла, в межах однієї будівлі або комплексу. Все в одному будинку, де кожен орендар має свою окрему кімнату чи квартиру. Орендарі мають власний договір оренди та платять орендну плату безпосередньо власнику. Ці будинки зазвичай мають орендну субсидію, пов'язану з квартирою, що дозволяє орендареві бути

дуже доступною для орендаря. Орендарі зобов'язані сплачувати 30% свого доходу на оренду та комунальні послуги. Співробітники соціальних служб працюють на місці та надають індивідуальні плани підтримки для кожної родини. Ці команди на місці також розробляють соціальні та освітні можливості для всієї будівлі та часто залучають орендарів до поточної розробки програм.

Будівлі зазвичай будуються таким чином, що 60% будівлі призначено для орендарів, які мають право на пільгове житло, і 40% для мешканців громади. Капітальне фінансування будівель може координуватися за допомогою різноманітних міських, державних і федеральних ресурсів. Соціальні послуги фінансуються через конкурентоспроможні міські або державні запити пропозицій.

Житло для людей що потрапили у скрутні ситуації має певні особливості у плануванні, їх будівництво у США опирається на вагомий досвід. Наприклад, Step Up on Second, відкритий у 1994 році, є першим постійним житловим комплексом Step Up. Тут є 36 одиниць в однокімнатних приміщеннях для проживання людей із серйозними психічними розладами та хронічних безхатченків. Завдяки значному фінансуванню, наданому містом Санта-Моніка, Step Up виконує функції координатора послуг, постачальника послуг психічного здоров'я та менеджера майна. На першому поверсі розташований Client Run Center Step Up, загальнонаціональний центр психосоціальної реабілітації [97]. У Бронксі збудовано багатоквартирний будинок з невеликими помешканнями-студіями для малозабезпечених орендарів, у тому числі тих, хто колись був бездомним [98]. Комплекс Willowbrook Apartments надає постійне житло для ветеранів з обмеженими можливостями, які залишилися бездомними (рис. 2). Комплекс розташований у районі Віллоубрук на півдні Лос-Анджелеса, поруч із популярною церквою та зупинками громадського транспорту. Він був побудований на трапецієподібному місці, яке пустувало роками [99].

Компанія Architects for Society (Міннесота) розробила прототип житла, що швидко розгортається, у якому можуть розміститися жертви катастроф (рис. 3). Будинок під назвою Нех House площею 40 квадратних метрів в основному

складається зі сталевих і пінопластових конструкційних ізольованих панелей (SIP), які можна упаковувати в плоскі форми та доставляти вантажівкою на будівельний майданчик [100].

Розосереджена модель розташування підтримуючого житла характерна для програм або організацій, що не мають у розпорядженні власних одиниць житлового фонду. В цьому випадку квартири розкидані по всьому місту в різних будинках, що належать приватним орендодавцям. Некомерційні постачальники укладають контракти з державними установами, щоб забезпечити орендарям безпечні доступні квартири, а також надати соціальну підтримку, необхідну орендарям. Оренда найчастіше укладається між орендодавцем і некомерційним постачальником. Усі орендарі мають договір суборенди та зобов'язані сплачувати 30% свого доходу на оренду та комунальні послуги. Субсидія, якою керує некомерційний постачальник, підключається до кожної орендованої квартири, щоб квартира була доступною для орендаря. Працівники соціальних служб працюють цілодобово, відвідують орендарів у квартирах, а також доступні в офісах, які зручно розташовані. Контракти на розкидані ділянки фінансуються міськими або державними установами.



Рис. 1. Житловий будинок
Бостон-Роуд, Бронкс (Нью-
Йорк)



Рис. 2. Комплекс
Willowbrook Apartments
(Лос-Анджелес)



Рис. 3. Будинок Hex House
(Міннесота)

Варто відзначити, європейський досвід показує, що не існує однієї універсальної функціональної моделі об'єктів підтримуючого житла, що могла б задовільнити потреби усіх груп користувачів, а також вирішити усі можливі проблеми, що є причиною звернення до програм із отримання підтримуючого житла особами, що його потребують. Різні причини втрати особою житла спонукають до виникнення різних потреб у терміні використання нею об'єкту

підтримуючого житла. У зв'язку із цим виникає поділ на категорії такого житла також і за моделлю функціонування, для якої основним чинником є термін використання орендованого житла: аварійні притулки, житло для термінового відселення, перехідні або тимчасові притулки, постійне підтримуюче житло (PHS).

Допоміжне, або підтримуюче житло – це доступне житло з допоміжними соціальними послугами для осіб і сімей, які є бездомними або знаходяться під загрозою залишитися бездомними. Більшість пільгового житла включає набір основних функцій: автономні номери або приватні кімнати з дверима, які замикаються в багатоквартирному будинку; окрему або спільну ванну кімнату та кухню; програми харчування; доступ до пральні та допоміжного персоналу та медичної підтримки; навчання життєвим навичкам, навичкам працевлаштування; направлення до інших комунальних служб. В деяких випадках передбачається медичний супровід на місці, що актуально для аутистів або іншої категорії людей, які мають за станом здоров'я потребують підтримки медичного персоналу.

Аварійні притулки – це заклади які є першими, куди звертаються люди під час або після переживання економічної чи побутової кризи для невідкладної допомоги. Тут надають послуги підтримки та короткострокової стабілізації як для окремих осіб так і цілих сімей, перш ніж знайти відповідне житло, яке відповідає їхнім довгостроковим потребам або відновити втрачене ними власне житло. Цікавим прикладом є центр екстреного розміщення бездомних у Булонському Лісі, Франція (Рис 4). Проект був створений для тимчасового розміщення безпритульних осіб у Парижі та забезпечення їм гідного рівня життя за мінімально можливих витрат.

В реаліях України такого типу житла найбільше потребують особи, що втрачають власне житло у наслідок бойових дій, природніх катаклізм або пожеж.

Житло для термінового відселення це модель житла, яка допомагає особам або сім'ям знайти власний будинок у найкоротші терміни. Це перше рішення щодо житла для нехронічної безпритульності, коли окремі особи або сім'ї

орендують власні квартири та отримують тимчасові послуги підтримки громади, які можуть включати ведення справ та обмежену в часі фінансову допомогу, з метою швидкого виведення їх із безпритульності. Вдалим прикладом є "Just a Minute" – Непальський проект, що був створений після найдорожчого в історії країни землетрусу, оскільки виникла потреба розселити за короткий термін велику кількість постраждалих сімей (Рис 5). Він передбачає створення конструкцій із доступних місцевих матеріалів, з яких можна швидко змонтувати невеликі будиночки. Оскільки на місце влаштування доставляються готові збірні конструкції, потрібна зовсім невелика кількість людей, щоб їх зібрати.

Перехідні або тимчасові притулки забезпечують тимчасове проживання на термін від шести до 24 місяців для людей, які втратили житло. Перехідні притулки, як правило, включають допоміжні послуги для покращення працевлаштування, щоб додатково допомогти особам отримати постійне житло якомога швидше. Прикладом житла такого типу є Wayss Youth Transition Hub у Австралії (Рис 6) . Це притулок для молоді, що перебуває на межі бездомності. У цьому закладі постійно працюють соціальні працівники, метою яких є надання необхідних навичок самостійного життя підліткам, що зростали у несприятливих умовах [101].

Постійне підтримуюче житло(PHS) – це програма, розроблена для надання житла та допоміжних послуг на довгостроковій основі раніше хронічно бездомним людям. Це особи з діагностованою інвалідністю і які були безхатченками протягом одного року або більше. Для значної кількості бездомних з фізичними або ментальними вадами довгострокова бездомність може бути вирішена лише шляхом надання постійного житла в поєднанні з інтенсивною підтримкою послуги. PSH забезпечує безпечне та стабільне житлове середовище з гнучкими та добровільними послугами. Las Perdices Housing – проект, що є результатом публічного конкурсу, розробленого в 2007 році на замовлення муніципалітету Ла Рейна в Сантьяго (Рис. 7). Конкурс мав на меті знайти постійне житло для 151 сім'ї в комуні. Він призначений для забезпечення житлових потреб сімей, що входять до 40% домогосподарств з

найбільшою уразливістю, і, відповідно, субсидія що держава надає сім'ям, має становити соціальну інвестицію, яка перетворює житло в капітал, що забезпечує соціальну мобільність сімей. Метою проекту є консолідація житла як капіталу, спадщини і, в кінцевому рахунку, довговічного та оборотного товару, адже у ході реалізації було ренововано уже існуючі об'єкти житлового фонду [102].



Рис. 4. Центр екстреного розміщення бездомних у Булонському Лісі (Франція)



Рис. 5. "Just a Minute" аварійне житло (Італія)



Рис. 6. Wayss Youth Transition Hub у Австралії

Притулок у Янковіцах (Польща) – призначений для безпритульних людей, для яких немає місця в системі догляду (Рис 8). Вони занадто здорові, щоб жити в будинку соціального захисту, і занадто «нездорові», щоб користуватися гуртожитком. Монахиня Хмелевська вирішила побудувати для них «ДІМ» [103].



Рис. 7. Las Perdices Housing (Сантьяго).



Рис. 8. Притулок у Янковіцах (Польща).

В Україні сьогодні є деякі інтерпретації підтримуючого житла, більшість з них зосереджені у центрах надання послуг людям у складних життєвих ситуаціях. Особливо актуальними такі центри стали після 24 лютого 2022 року, коли велика кількість громадян України втратили свої домівки та змушені були залишати рідні міста для збереження власного життя через активні бойові дії у їх містах. На цей період варіантів, передбачених державними програмами, підтримуючого житла для такої великої кількості людей майже не було.

У містах західної України – Львові, Дрогобичі, Бортятині тощо було створено модульні містечка на зразок аварійних притулків (Рис. 9, 10), які мали оперативно забезпечити тимчасовим житлом людей, що постраждали від повномасштабного вторгнення [104, 105]. Місцевими громадами окремих поселень були переобладнані деякі будівлі гуртожитків чи громадських будівель для влаштування підтримуючого житла.



Рис. 9. Модульне містечко у Львові, вул, Пулюя



Рис. 9. Модульне містечко у Львові, вул
Червоної Калини, 72-А

Досить поширеним досвідом стало своєрідне розкидане підтримуюче житло в українських містах. Для забезпечення помешканнями потребуючих людей державні установи виділяли субсидоване житло – безпечні доступні квартири в різних частинах міста. Проте, прикладів конгрегатного житла, де можуть бути зосереджені житло та медичний і соціальний супровід людям, що потрапили у скрутні життєві ситуації не виявлено.

Підтримуюче житло є важливим ресурсом для людей, що перебувають у складних життєвих ситуаціях, їх походження, є дуже різними. Відповідно, перелік функціональних моделей такого житла є досить неоднозначним та не передбачає сталої чи універсальної структури. Також залишаються незахищеними люди з проблемами психічного відхилення – аутисти, люди похилого віку, інваліди для яких взагалі сьогодні не передбачено відповідних житлових умов, де є медичний та соціальний супровід протягом доби. Метою створення цього типу житла є часткове, вирішення можливих проблем людей, що залишились без помешкання, або в складних життєвих обставинах. Особливістю тут є обов'язкова присутність додаткових послуг від соціальних чи

медичних працівників, психологів, реабілітологів, що є невідомою частиною державної програми підтримки.

В нашій державі відсутні будівлі концентрованого типу, проте досвід показує, що таке житло здатне вирішити проблеми житлової інфраструктури для певних соціальних груп людей. Причин для несподіваної втрати житла та потреби у соціальному захисті в нашій державі сьогодні є вдосталь, тож дослідження та створення будівель підтримуючого житла має важливе значення.

Висновки: Концепція підтримуючого житла виникла як відповідь на потреби людей з різними видами обмежень та уразливих груп, таких як особи з обмеженими можливостями, безпритульні, люди з психічними або психічними розладами, а також інші люди, які можуть мати проблеми зі здоров'ям, фінансами або соціальною інтеграцією.

Основна перевага ідеї підтримуючого житла полягає у ефективній допомозі різним категоріям цільових груп за рахунок врахування їх специфічних потреб та відповідному підходу до їх вирішення. Тому при проектуванні об'єктів підтримуючого житла необхідно враховувати причини, з яких людина потребує покращення своїх житлових умов та потенційну тривалість користування наданого їй об'єктом житла. А також залучення додаткової «підтримуючої» складової у вигляді функціональних зон та приміщень, що необхідні у кожному з випадків.

Варто зазначити, що архітектурно-планувальне вирішення, функціональне наповнення залежить від характеру соціальної програми підтримки населення для якого передбачається певна модель будівлі. Проте, напрямки та перспективи проектування будівель підтримуючого житла на даному етапі є недослідженими.

Доцільно вивчати зарубіжний досвід будівництва та розвитку підтримуючих помешкань, структурувати та адаптовувати для кризових варіантів житла в Україні. Варто відзначити, що соціальні програми в Україні, які націлені на забезпечення людей підтримуючим житлом сьогодні є на стадіях вдосконалення та потребують також додаткових досліджень для подальшої можливості розвитку. Для вирішення проблем забезпечення певних груп

населення підтримуючим житлом в Україні необхідне всестороннє дослідження, включаючи соціологічні, психологічні та економічні аспекти адаптації закордонного досвіду до вітчизняних потреб, що в майбутньому дасть ґрунтовну базу для проектування будівель підтримуючого житла.

SECTION 3. DEVICES

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.3.1

3.1 Development of a methodology for calibration of pressure measuring instruments

3.1.1 Area of application

This procedure defines the procedure, content and scope of work for calibration of pressure meters, vacuum meters and barometers.

This procedure contains:

- Procedure for determining the absolute deviation of readings of pressure meters, vacuum meters, technical, electrical contact, tyre meters of accuracy class 0.25 and below.
- Procedure for determining the absolute deviation of meteorological barometers;
- The procedure for calculating the measurement uncertainty during calibration;
- Guidelines for drawing up calibration results.

This methodology establishes the procedure for calibration of manometers, vacuum meters, and barometers of the above types (hereinafter referred to as instruments) manufactured in Ukraine and imported from abroad and intended for pressure measurement.

References.

This methodology contains references to the following documents:

DSTU ENISO/IEC 17025:2019 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories [106].

MPU 003/04-2014 Recommendations. Metrology. Manometers, vacuum meters, manovacuum meters, pressure meters, load cells and load cells indicating and self-recording. Calibration methods [107].

GOST 23696-79 Membrane meteorological barometers. Technical specifications [108].

EA-4/02 Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration [109].

3.1.2 Calibration means

For calibration, the standards listed in Table 1 are used. It is allowed to use other reference equipment, but the method must undergo additional evaluation in accordance with the method "Evaluation of the suitability (validation) of methods".

Table 1
Standards for calibration

| Name of operations | Number of the methodology item | Working standards, equipment, technical and metrological characteristics |
|--|--------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Monitoring of calibration conditions | 4 | Aneroid barometer BAMM-1, 80-120 kPa; Digital thermo-hygrometer T-06, 0-50 °C, 20-95 %; |
| External inspection. Testing | 7 | - |
| Performing measurements and determining readings. Procedure for estimating measurement uncertainty. | 8 | Etalons: Pressure meter with conventional MB scale (range 0 - 2.5 kgf/cm ²); Pressure meter with a nominal scale MB (range 0 - 60 kgf/cm ²); Pressure meter with a conditional MB scale (range 0 - 16 kgf/cm ²); Electronic barometer Testo 511. Auxiliary equipment: Means for creating pressure MP-60, Thermobaric chamber TVV1000-V (-70 to +120°C; 0 - 1.33 hPa); Pressure calibrator CPH7000 - 1...+25 bar, 0.025% of the range, Pressure converter CPT7000 0...100 bar, G1/2B, - 20...+80°C, 0.025 % of the range |

The equipment used for calibration shall be calibrated to ensure traceability of measurements. Also, the equipment shall be checked to establish its compliance with the technical requirements set out in the relevant EP.

It is allowed to use other means of auxiliary equipment with characteristics not worse than those specified in Table 1.

3.1.3 Calibration conditions

1 Calibration is performed under the following conditions:

- The ambient air temperature in the room must be $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- Relative humidity of the ambient air - no more than $(60 \pm 20) \%$.
- atmospheric pressure from 84 to 106 kPa.

2. The temperature change during the calibration of the pressure meter should not exceed 5°C for every 30 minutes.

3. The rate of pressure measurement during the calibration of the pressure meter is not more than 5% of the largest measurement value in 1 s; the change in pressure during measurements should be smooth and monotonous.

4. External vibration during the calibration of the manometer should not create a range of oscillations of the device arrow more than 0.1 fraction of the smallest division of the scale.

3.1.4 Safety requirements for calibration

1. Only persons with experience in working with the devices and who have undergone occupational safety training in accordance with the established procedure are allowed to perform calibration.

2. When performing calibration, the following shall be observed:

- requirements of NPAP 40.1-1.21;
- during the work it is necessary to comply with the requirements of the sections "Safety requirements" of the technical descriptions for the equipment used.

3. During the work, it is necessary to comply with the labour protection rules established by the labour protection instructions for this type of work, as well as the rules specified in the operating documents for specific equipment.

4. The operating environment of the devices must comply with their documentation.

It is allowed to use other environments that do not cause corrosion of parts and components of the device, if they are specified in the technical documentation for the device.

5. It is forbidden to create a pressure during measurements that exceeds the upper measurement limit of the instrument.

Personnel qualification requirements

This method can be used by specialists certified and authorised to perform this type of work.

The calibrator must know the principle of operation, construction of manometers, vacuum meters and barometers and the rules of operation of instruments and other equipment used during calibration.

3.1.5 Preparing for calibration

1. Before performing measurements, the device must be kept in the laboratory where the calibration will be performed for

- 12 hours if the air temperature difference between the calibration room and the place from which the device is brought is more than 10 °C;

- 1 hour if the difference in air temperature between the calibration room and the place where the device was brought in is from 1 °C to 10 °C.

If the difference in temperature is less than 1 °C, no holding time is required.

2. External inspection

During the external inspection it should be established

- compliance of the device with the requirements of the ND in terms of surface quality, digitisation and scale strokes, completeness and labelling.

The device must be free from mechanical damage to the case and fitting that prevents connection and does not ensure the tightness and strength of the connection, hands, glass and dial, affecting the operational properties.

The glass and dial must be free from defects that prevent correct reading of the readings.

The connection of the pressure meter body with the holder or fitting must be strong, which excludes their mutual displacement.

Devices rejected during external inspection are not subject to further calibration.

The results of the external inspection are recorded in the protocol.

3. Testing the pressure meter and vacuum meter

The device to be calibrated is mounted on the pressure generating device in the working position, according to the marking on its body (or in the technical documentation). If the documentation is not available, the device is installed so that the axis of symmetry passing through the device connection is vertical.

The end of the calibrated device fitting should be in the same horizontal plane as the end of the reference manometer, with a permissible deviation of ± 50 mm.

The device is held under a pressure equal to the upper limit of measurement on the pressure generating unit for 5 minutes. The tightness of the seal between the fitting and the socket of the pressure generating device is checked. The seal is considered to be tight if the reading of the device does not decrease by more than 2% of the set pressure during these 5 minutes.

After the pressure test, check the position of the instrument hand relative to the zero mark of the scale:

- the arrow of the device, which has a zero corrector, if it deviates from the zero mark, is set to the zero mark. The zero corrector should ensure that the arrow moves to each side of the zero mark by at least 2 conventional units;

- for instruments without a zero corrector, the pointer should be at the zero mark with a permissible deviation not exceeding the limit of permissible basic error.

The movement of the arrow within the entire scale when increasing and decreasing pressure should be smooth.

Technical pressure meters with an electrocontact signalling device are checked for operation of the signalling device, the deviation of which is determined at least at three scale marks. The wires from the signalling device are connected to a light or sound signal source.

The test results are recorded in the protocol.

Testing the barometer.

The movement of the arrow in the working range of the scale is smooth, without snags.

The displacement of the arrow, after lightly tapping the instrument case with a finger in its working position, should not exceed half the scale division.

The barometer mechanism is securely fixed in the case and does not move when shaken.

3.1.6 Description of the calibration procedure

3.1.6.1 Description of the calibration procedure for pressure meters and vacuum meters

1. Carry out measurements and determine the instrument readings.
2. When calibrating devices, the method of comparison with the standard is used. Calibration is carried out in the laboratory.

The source of the measurement information signal is the pressure generated by the installation and actually measured by the instrument and the reference measuring instrument (Fig.

3. The device to be calibrated is held for 5 minutes under a pressure equal to the value of the upper limit of measurement. Then determine the 0 reading of the calibrated instrument and record it in the protocol (Annex A), and perform a series of measurements:

- for pressure meters with class 0.25; 0.4; 1.5; 2.5; 4.0 at each point to be calibrated: 1 observation at pressure increase, 1 observation at pressure decrease;

The scheme of direct comparison of the calibrated device with the reference measuring instrument is shown in Fig. 1.

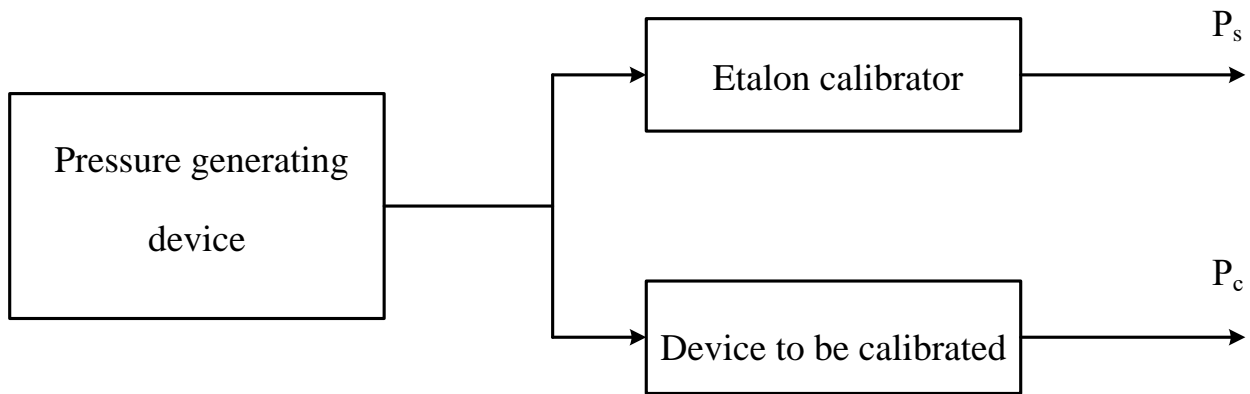


Figure 1. Scheme of direct comparison of the calibrated device with the reference measuring instrument.

By gradually increasing the pressure in the system, readings are taken at the specified calibrated scale marks. It is advisable to set the value (arrow) of the reference instrument fixedly at the calibration point, and to make all observations on the instrument to be calibrated. Readings in units of measurement are taken from the display of the instrument to be calibrated at intervals of at least 5 seconds.

At the upper limit of measurement, the devices are kept under pressure for 5 minutes. After that, the pressure is gradually reduced. The device is calibrated and readings are taken at the same pressure values as during the increase. As a standard option, each series of measurements is carried out at 5 pressure values (calibration points), the points to be calibrated must be evenly distributed over the entire scale of the instrument.

4. All the measured pressure values are used to estimate the measurement uncertainty at each calibration point and are recorded in the test report.

5. The customer, based on the production expediency, has the right to independently determine the required number and values of the calibration points of the device.

6. In the process of calibration of the device, the difference ΔP between the measurement result P_c by the device to be calibrated and the value of the reference manometer P_s is estimated

$$\overline{\Delta P} = \overline{P_c} - (P_s + \Delta P_s)$$

where \bar{P}_c – is the average reading of the instrument to be calibrated (unit).

$$\bar{P}_c = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 P_{ci}$$

P_{ci} – is the reading of the calibrated instrument under loading and unloading;;

P_s – readings of the reference device;

ΔP_s – correction to the readings of the reference pressure meter.

7. Also, during the calibration process, the difference between the measurement results at increased and decreased pressure is evaluated, determining the variation of the elastic response (hysteresis).

$$\Delta P_h = |P_{c1} - P_{c2}|$$

where P_{c1} – reading of the instrument to be calibrated (pressure rise);

P_{c2} – readings of the calibrated device (pressure drop).

3.1.6.2 Estimation of measurement uncertainty during calibration of pressure meter and vacuum meter. Model equation

$$u(\Delta P) = \sqrt{u^2(\delta P_0) + u^2(\delta P_h) + u^2(\delta P_t) + u^2(\delta P_{cr}) + u^2(\delta P_{dr}) + u^2(\delta P_s)}$$

$$u(\delta P_0) = \frac{\Delta P_0}{2\sqrt{3}} - \text{uncertainty of zero value setting};$$

where ΔP_0 – deviation of the arrow from the zero value;

$$u(\delta P_h) = \frac{\Delta P_h}{\sqrt{3}} - \text{uncertainty taking into account hysteresis};$$

$u(\delta P_t)$ – correction for temperature deviation from the normalised temperature during calibration of technical, electrical contact, busbar pressure meter of accuracy class 1.5; 2.5; 4.0 is insignificant and does not significantly affect the calculation of uncertainty, therefore its values are taken equal to zero;

$(\delta P_{cr}) = \frac{q}{4\sqrt{3}}$ – standard uncertainty due to the finite resolution of the calibration instrument with an analogue counting device (q is the division price of the instrument);

$(\delta P_{cr}) = \frac{q}{2\sqrt{3}}$ – standard uncertainty due to the finite resolution of the calibration instrument with a digital counting device (q-division);

$(\delta P_{dr}) = \frac{D}{\sqrt{3}}$ – standard uncertainty due to the drift of the reference pressure gauge readings since the last calibration (D is the drift estimate since the last calibration, in the absence of a drift estimate $u(\delta P_{dr}) \approx U_{cal} / k(p)$).

$u(\delta P_s) = \frac{U_{cal}(P_s)}{k(p)}$ – expanded calibration uncertainty of the reference pressure gauge and the corresponding coverage factor (from the calibration certificate of the reference pressure gauge).

The expanded uncertainty of measurement deviation P- for a confidence level of $p=0.95$ is calculated by the formula:

$$U(\Delta P) = k \cdot u(\Delta P),$$

where k – coverage factor (k = 2 is the 95% confidence level assuming a normal distribution and k = 1.65 is the 95% confidence level assuming a uniform distribution).

The method of calculating the measurement uncertainty is automatic, using the Exel software. Evaluation of computer software is carried out by comparing the results of calculations and analysis obtained in parallel on a computer and manually. The results of the evaluation are documented in the Measurement Uncertainty Budget and recorded in the protocol.

3.1.7 Description of the procedure for calibration of barometers

1. Carrying out measurements and determining the instrument readings.
2. When calibrating devices, the method of comparison with the standard is used.

Calibration is carried out in the laboratory. The scheme of direct comparison of the calibrated instrument with the reference measuring instrument is shown in Fig. 2.

The source of the measurement information signal is the pressure generated by the thermobaric chamber, which is actually measured by the device and the reference measuring instrument.

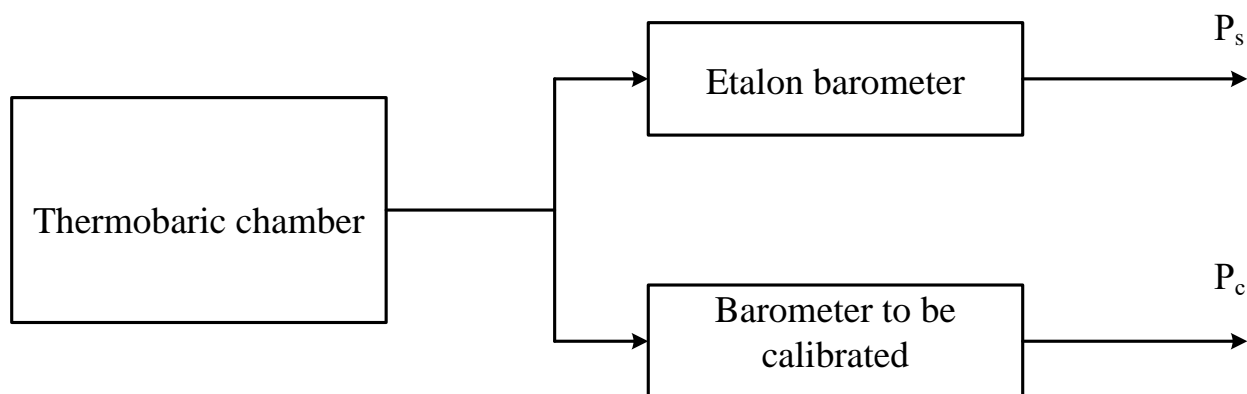


Fig. 2. Scheme of direct comparison of the calibrated device with the reference measuring instrument

3. Place the device to be calibrated in the thermobaric chamber;
4. Set the temperature value to 20 °C in the middle of the thermobaric chamber;
5. Perform a series of measurements at increasing and decreasing pressure and record the readings of the calibrated instrument in the protocol;

6. If the number of points is not specified by the customer, calibration of three points (50%, 70%, 90% of the instrument scale value) is performed. First, set the value of 50% of the scale, then 70%, and then 90%, and then reduce the pressure by setting the points of 70% and 50% of the scale. The readings of the calibrated device at each scale mark are counted down after the pressure and temperature have stabilised, at least after 2 minutes.

7. In the process of calibration of the barometer, the difference ΔP between the measurement result P_c by the barometer to be calibrated and the value of the reference barometer P_s is estimated

$$\overline{\Delta P} = \bar{P} - (\bar{P}_s + \Delta P_s)$$

where \bar{P} – average of the readings of the barometer to be calibrated

\bar{P}_s – average of the readings of the reference barometer;

ΔP_s – correction to the reading of the reference barometer from the calibration certificate.

8 In addition, during the calibration process, the difference between the measurement results at higher and lower pressures is evaluated, determining the variation.

$$V = |P_1 - P_2|$$

where P_1 – readings of the device to be calibrated (pressure increase);

P_2 – readings of the instrument to be calibrated (pressure drop).

*Estimation of the measurement uncertainty during the calibration of
barometers. Model equation*

$$\Delta P = \bar{P} + \delta P_t + \delta P_v + \delta P_{tr} + \delta P_b + \delta P_{cr} - (\bar{P}_s + \Delta P_s + \delta P_s + \delta P_{dr})$$

P_v – correction for variation;

δP_t – correction that takes into account the effect on the instrument readings when the temperature inside the thermobaric chamber deviates from the normalised temperature during calibration;

δP_{tr} – correction that takes into account the effect of uncertainty in the temperature of the thermobaric chamber (from the calibration certificate of the thermobaric chamber);

δP_b – correction for the uncertainty in the pressure of the thermobaric chamber (from the calibration certificate);

δP_{cr} – correction to the readings of the calibrated instrument due to its finite resolution;

δP_s – correction to account for the uncertainty of the reference instrument (from the calibration certificate of the reference);

δP_{dr} – correction for the drift of the reference barometer.

The total standard uncertainty of the measurement of the deviation of the pressure determination of the calibrated instrument is estimated by the formula:

$$u(\Delta P) = \sqrt{u^2(\delta P_t) + u^2(\delta P_v) + u^2(\delta P_{tr}) + u^2(\delta P_b) + u^2(\delta P_{cr}) + u^2(\delta P_{dr}) + u^2(\delta P_s)}$$

$$u(\delta P_{tr}) = \frac{U_{cal}(T_b)}{k(p)} - \text{uncertainty that takes into account the total uncertainty in}$$

the temperature of the thermobaric chamber from the calibration certificate, and the corresponding coverage factor

$$C_B = \frac{a + bt + ct^2 + dt^3 + k(Pk - P)}{\sqrt{3}}, \text{ where } a, b, c, d, k, Pk - \text{ are typical temperature}$$

dependence coefficients given in the barometer certificate;

$$u(\delta P_v) = \frac{V}{\sqrt{3}} - \text{uncertainty that takes into account the variation}$$

$$u(\delta P_t) = \frac{a + bt + ct^2 + dt^3 + k(Pk - \bar{P})\Delta t}{\sqrt{3}} 3 - \text{standard uncertainty that takes into}$$

account the effect on the instrument readings when the temperature inside the thermobaric chamber deviates from the normalised temperature during calibration. (Δt is a correction for a temperature of 20 °C from the calibration certificate of the thermobaric chamber, \bar{P} is the average value of the readings of the instrument to be calibrated).

$$(\delta P_{cr}) = \frac{q}{4\sqrt{3}} - \text{standard uncertainty due to the finite resolution of the instrument}$$

being calibrated with an analogue counting device (q is the division price of the instrument);

$$u(\delta P_{cr}) = \frac{q}{2\sqrt{3}} - \text{standard uncertainty due to the finite resolution of the}$$

instrument being calibrated with a digital counting device (q – resolution);

$$u(\delta P_{dr}) = \frac{D}{\sqrt{3}} - \text{standard uncertainty due to the drift of the reference barometer}$$

since the last calibration (D – estimate of the drift since the last calibration, in the absence of an estimate of the drift $u(\delta P_{dr}) = 0$).

$$u(\delta P_s) = \frac{U_{cal}(P_s)}{k(p)} - \text{expanded calibration uncertainty of the reference barometer}$$

and the corresponding coverage factor (from the calibration certificate of the reference barometer).

$$u(\delta P_b) = \frac{U_{cal}(P_b)}{k(p)} - \text{expanded uncertainty of the thermobaric chamber}$$

calibration and the corresponding coverage factor (from the calibration certificate), in

the absence of $u(\delta P_b) = \frac{\Delta P_b}{\sqrt{3}}$, where ΔP_b – pressure fluctuation inside the thermobaric chamber (from the passport).

The expanded uncertainty of measurement deviation P – for a confidence level of $p=0.95$ is calculated by the formula:

$$U(\Delta P) = k \cdot u(\Delta P)$$

where k – coverage factor ($k = 2$ is the 95% confidence level assuming a normal distribution and $k = 1.65$ is the 95% confidence level assuming a uniform distribution). The method of calculating the measurement uncertainty is automatic, using the Exel software. Evaluation of computer software is carried out by comparing the results of calculations and analysis obtained in parallel on a computer and manually. The results of the evaluation are documented in the Measurement Uncertainty Budget and entered into the calibration report.

Documentation of calibration results

The calibration results shall be documented by a calibration certificate in a specified form.

SECTION 4. ENERGY

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.4.1

4.1 General overview of the EU gas market

The European Union started the process of bringing competition to the European natural gas market almost twenty years ago. The organization and coordination of the gas market, as well as the participation of various actors, underwent substantial changes as a result. The restructuring process is still in progress as of mid-2016. There is a prevalent belief that the market requires more development, which leads to the frequent release of new laws, guidelines, and interventions. At first, the market restructuring process's delays were blamed for the issues. The efficient operation of the EU gas market was impeded by producers, wholesale, and retail companies using their market power. In north-west Europe, supplier competition has grown the most, while other regions continue to rely on a single [110]. Simultaneously, significant shifts are evident in the global and European gas and energy markets as well as the environment in which these markets operate. In the first place, the EU has grown geographically, adding new members from central Europe that were previously Warsaw Pact members. In addition, the former Soviet republics have achieved independence and are implementing their own energy and political policies, which may or may not be impacted by internal conflicts. Second, the growing acceptance of global warming as a result of the use of fossil fuels has changed the preferences and priorities of EU member states with regard to energy supply, which has an impact on energy and environmental policy. Thirdly, the availability and transportability of gas resources locally have changed significantly due to the swift advancement of LNG technology and unconventional gas (and oil) production. The latter in particular has contributed to the economic integration of the world's three major continental gas markets—Southwest Asia, Eurasia, and America [111, 112]. Changes in these geopolitical, environmental, and technological determinants have had a significant impact on the development of "reactive" policies in the European Union, both in Brussels and among the Member States, as will be

demonstrated below. The overall goals of the energy and gas market policy are still framed in the EU's unique understanding of how to establish a "well-functioning" market in a sector that at least partially demonstrates the characteristics of a natural monopoly [113]. This begs the intriguing question of how long the current European gas policy can sustain its primary goal of using more or less continuous regulatory intervention to create a "well-functioning" gas market. First, we will go over several essential features of the gas industry below. We will then quickly review the evolution of the European gas market restructuring as it has been reflected in the EU Commission's subsequent directives and interventions. After that, we will quickly go over the structural modifications to the European gas market as well as the overall global energy landscape. We wrap up by talking about how these factors interact and what that means for gas in Europe. There are three primary segments in the natural gas industry. The exploration and production of gas occur upstream. The mid-stream section entails moving the gas to power plants, large-scale industrial users, and local distribution networks. The gas is typically moved across continents using high pressure transmission pipelines. LNG tankers are used to transport the gas overseas. Depleted gas fields and salt caverns are two places where gas can be kept. Small residential and commercial customers receive gas delivery from the local distribution networks downstream. These production, transportation, distribution, and storage systems require sophisticated and dangerous operations for their development, management, and utilization. Firstly, they necessitate substantial investments, with capital expenditure accounting for the majority of the total cost. Second, the assets involved are very specific; once they are built at a certain location, they cannot be moved or repurposed in the event that the supply or demand for gas is interrupted. These expenses have literally "sunk." Thirdly, each party is obligated to a certain extent to be dependent on the other. For producers, dealers, and end users, pipelines, LNG facilities, and storage facilities are vital infrastructure. Therefore, the circumstances surrounding access to these facilities play a crucial role in determining how well supply chains and the economy wellbeing of the parties involved.

Volume and price risk are important in this regard. Only when their assets are used at a fair rate of throughput and at revenues that cover their costs over the long run will gas producers and infrastructure operators be able to turn a profit. They require demand security. Customers demonstrate their commitment to gas use by purchasing particular gas-fired appliances and installations. They require supply security, obviously at a cost that is reasonable considering the cost of substitute energy sources. Because of these factors as well as the economies of scale related to their technical and spatial features, gas systems have typically been regarded as natural monopolies where competition was impractical. [114].

In the past, governments have stepped in and regulated the industry to protect the public interest and the sector's financial stability due to the economic theories of public goods, market imperfections, and market failure. The public interest in resource management in the gas-producing nations served as another justification for government intervention. [115]. Private companies operating in the production, transportation, and retail sectors in the United States were subject to federal and state regulations. [116, 117]. Public coordination in Europe typically took the form of direct government intervention. Municipal gas companies oversaw retail trade and local distribution networks, while joint ventures between gas producers and national and local authorities handled international gas transmission and wholesale trade.

Long-term contracts with take-or-pay and destination clauses were used to organize market coordination and commercial transactions. Oil products were the primary gas substitutes, and the price of gas was linked to them. Gas producers were paid based on the net-back principle. According to the net-back principle, after all expenses are covered, producers (as well as the governments) are supposed to receive a residual sum. Public finances and economic coordination were significant factors in this context. There were complex regulations governing tax collection, production, and exploration for gas sales. Gas prices were frequently used as a tool for sectoral and regional economic stimulation [118–121].

Starting from the late 1970s, there was increasing criticism towards forms of public intervention and market coordination, particularly originating in the Anglo-

Saxon world. The concept of 'rolling back the state' as advocated by figures like Margaret Thatcher and Ronald Reagan, alongside the promotion of competition, aimed to enhance the efficiency of providing energy, water, public transport, and other services. In 1985, the European Community adopted the Single European Market strategy, a broad plan for liberalizing the EU economy. This was followed in 1988 by the 'Internal Energy Market' initiative, which sought to restructure energy markets in a similar vein. The primary rationale behind these efforts was to remove barriers to intra-communitarian trade in goods and services, while also reflecting a neoliberal perspective on competition, efficiency, and business interests. Over time, this approach paved the way for the development of a European gas market, where competition would exist among gas producers and suppliers in the upstream segment, as well as among traders in the wholesale and retail segments. The transition from traditional long-term contracts to short-term transactions was envisioned, with market prices being determined by scarcity conditions to balance gas supply and demand. The expectation was that liquid spot markets would emerge at points where different sources of supply intersected with demand. Essential to this vision was granting competing traders access to crucial infrastructure in transportation, distribution, and storage to reach their customers. To facilitate this, three fundamental regulatory principles were adopted in Europe.

The first principle necessitated the separation, or 'unbundling,' of essential facilities from production and trading activities. This separation ensured that operators of such facilities had no commercial stake in manipulating gas flows or leveraging market insights for trading purposes. Over time, increasingly stringent legal and managerial unbundling requirements were imposed on transmission and distribution pipelines. Many networks were separated from former wholesale companies and local gas utilities, and managed as either transmission or distribution system operators (TSO or DSO). Other facilities, such as LNG, storage, and conversion, were subject to different regimes based on their position as potential monopolies in relevant markets, with potential exemptions from third-party access requirements granted on a case-by-case basis.

The second principle centered on providing 'undiscriminating access' to these essential facilities for trading parties. This involved not only access to transportation systems but also to storage, LNG, and quality conversion facilities as needed. Initially, access was arranged through relatively simple 'first come, first served' contracts, allowing traders to reserve a specific amount of capacity for a set time period at a specified tariff. However, over time, a more complex approach evolved. Access to transmission pipelines, in general, adopted an entry-exit model, where gas shippers booked entry and exit rights for specific volumes of gas at specific locations, abstracting from the actual routes taken by gas molecules. This model maximized flexibility for shippers to buy and sell to market parties at any location, with equal entry and exit tariffs for all shippers at specific locations. Distribution networks typically applied postage stamp tariffs, where a seller booked entry in a designated zone at a pre-specified tariff based on the location of their client. Access conditions for other facilities depended on whether they were exempted or not; owners or operators either had to provide access to interested users under pre-specified conditions, or they were allowed to determine their capacity usage themselves.

A crucial aspect of facilitating access, in conjunction with the tariff structure, involves allocating available capacity to interested shippers. Initially employing simple first-come, first-served rules, a complex array of mechanisms was developed to both maximize the utilization of physically limited capacity by accommodating as many shippers as possible, thus reducing contractual congestion, and to efficiently allocate scarce capacity to those shippers who value it the most. Consequently, various procedures for tendering, secondary trading of capacity, and reallocation of unused capacities were established. The overarching goal was to enable shippers to align their commodity transactions in the gas market with appropriate handling arrangements for delivery to their clients or storage facilities. This approach aimed to enhance the functioning of the gas market and facilitate the efficient allocation of gas volumes at market prices, reflecting their value to producers and consumers.

A third principle addressed the realization that the gas infrastructure inherited from the traditional gas industry still bore the imprint of its former natural monopoly

status. Key issues included excessive investment in assets, high operational costs, tariffs that did not align with economically efficient transport costs, and discriminatory practices towards different consumer types and regions. To mitigate infrastructure costs, tariff and/or revenue regulation was necessary to compel Transmission System Operators (TSOs) and Distribution System Operators (DSOs) to enhance operational efficiency and system utilization. This led to the adoption of various regulatory approaches such as price cap, yardstick, or RPI-X regulation. Each Member State was required to establish a National Regulatory Authority (NRA) for the energy sector, tasked with approving and overseeing tariffs (or methodologies) to ensure equitable access to unbundled networks.

Following initial attempts in the early 1990s, the liberal concept for a gas market was gradually implemented through several stages. The European Commission issued three consecutive Gas Directives, which provided increasingly explicit and stringent rules for Member States to implement. The 2009 Directive, known as the Third Package, was particularly significant as it aimed to harmonize disparate national approaches. This response followed a 'Sector Enquiry' conducted by the Commission's Directorate-General Competition, which identified barriers to a well-functioning gas market such as limited infrastructure access and the dominance of a few companies.

Another key outcome of the Third Package was enhanced EU-wide cooperation. In 2009, the Commission established the Agency for the Cooperation of National Energy Regulators (ACER). Prior to this, regulators had been cooperating voluntarily since March 2000 within the Council of European Energy Regulators (CEER), alongside the European Regulators Group for Electricity and Gas (ERGEG) established by the Commission. ACER was tasked with filling the regulatory void in cross-border situations and facilitating EU-wide regulatory coordination to align national market and network operation rules and promote investment in trans-European infrastructure.

Furthermore, in 2009, unbundled national Transmission System Operators (TSOs) began EU-wide cooperation through the European Network of Transmission System Operators for Gas (ENTSOG). Their collaboration aimed to boost cross-border

gas trade and develop the European transmission network, including the provision of a 10-year gas network development plan.

Enhanced EU-wide cooperation led to further progress in achieving seamless cross-border gas trade through initiatives like the gas target model (GTM). The GTM aims to establish cross-border connections between national or regional entry/exit areas, where instantaneous supply and demand determine gas prices, akin to a virtual spot market. Long-term contracted gas volumes are delivered at entry/exit area borders, shaping the market price, which may also be influenced by occasional short-term purchases of inter-area volumes.

In the early 2000s, concerns regarding the security of gas supply became prominent. In 2004, Directive 2004/67/EC was adopted with the aim of establishing a unified framework for Member States' security-of-supply policies, aligning them with the requirements of a single gas market. Disputes between Russia and Ukraine in 2006 and 2009 resulted in supply disruptions in central and southeastern Europe, prompting the adoption of Regulation 994/2010. This regulation aimed to standardize national measures and introduce common minimum standards for preparedness, fostering solidarity among states during crises.

As tensions persisted between Russia, Ukraine, and the EU, a stress test was conducted in 2014 to assess security of gas supply. Subsequently, in 2016, a draft proposal for an extensive security of supply regulation was published. This draft assigns industry and Member States, organized into specific regions, the responsibility for ensuring supply to protected customers, with the European Commission overseeing general coordination and consistency.

The draft emphasizes enhanced cooperation in regional preventive action plans and emergency plans, while also proposing an infrastructure standard to ensure gas supply even in the absence of major infrastructure. Additionally, it advocates for permanent bidirectional transmission capacity to be maintained.

In February 2015, the Commission introduced its Energy Union policy, outlining a significant overhaul of Europe's energy system. Aligned with ambitious EU climate objectives, the policy aims to ensure that EU consumers have access to secure,

sustainable, competitive, and affordable energy. The key components of this policy include:

1. Energy security, solidarity, and trust.
2. The establishment of a fully integrated European energy market.
3. Promotion of energy efficiency to moderate demand.
4. Decarbonization of the economy.
5. Emphasis on research, innovation, and competitiveness.

The EU aims to transition away from a fossil fuel-driven economy and move towards a decentralized, demand-side approach, utilizing modern technologies and business models [110–111].

Regarding the role of gas, the Energy Union policy primarily addresses energy security, solidarity, and trust. It emphasizes the necessity of diversifying energy sources, suppliers, and transport routes. Key elements of this strategy include:

1. Developing the Southern Gas Corridor to enable gas delivery from central Asian countries to Europe.
2. Establishing liquid gas hubs with multiple suppliers in various regions, including northern, central, and eastern Europe, as well as the Mediterranean area.
3. Investing in additional transport infrastructure with support from community funding instruments and European financial institutions.
4. Formulating an LNG strategy to provide backup during crisis situations, including the construction of gas storage facilities in Europe and improving the transport infrastructure connecting LNG access points.
5. Encouraging domestic energy production to reduce import dependence, with a focus on renewables for decarbonization, alongside conventional and, for Member States opting for it, unconventional oil and gas, provided that public acceptance and environmental impact issues are adequately addressed [110-114]

Developments in the Gas Market

Parallel to the enactment of successive gas directives, significant economic and political shifts have occurred in both the supply and demand dynamics of the European

gas market and the global gas market since the turn of the century. These developments have substantially altered the operating context of the European gas market.

On the supply side, indigenous gas reserves in Europe, notably in the Netherlands, the UK, Germany, France, and Italy, are gradually declining. In the Netherlands, gas production-induced earthquakes in the Groningen field have prompted the government to restrict annual production. Apart from Norway, there is minimal potential for supply expansion within the EU. The role of unconventional gas in Europe is limited due to public resistance and regulatory hurdles. Current European gas imports primarily come from Russia, Norway, Algeria, and Libya via traditional long-term contracts, although renegotiations occur to maintain competitiveness. Expanding supply capacity and bringing new reserves online require substantial investments in production and transport infrastructure, especially in remote and costly areas such as Russia and offshore Norway.

New potential gas suppliers are situated to the southeast of Europe, including Turkmenistan, Kurdistan, Iran, Azerbaijan, and the East Mediterranean region involving Cyprus, Israel, and Egypt. However, political complexities and transit issues, particularly concerning Turkey, hinder pipeline construction in the Southern corridor.

The evolving global LNG market is often seen as the 'ideal' solution to Europe's energy and gas dependency. The LNG supply potential has grown significantly, driven by traditional and new reserves, particularly following the US shale gas revolution. LNG could be imported into the EU market via re-gasification capacity along European shores.

On the demand side, the situation has also evolved. Initially, gas usage in Europe was gradually increasing in countries where it was a traditional energy source, while in other countries like Spain, it was gaining market share rapidly due to environmental, comfort, and economic advantages. However, the post-2008 economic downturn led to an overall decline in gas usage. Additionally, public perception of natural gas has weakened, influenced by policies promoting wind and solar power and concerns about its environmental impact. Gas is increasingly viewed as a 'dirty' fossil fuel, undermining its role as a bridge towards sustainability. Local resistance to shale gas

and fracking, as well as the availability of low-cost coal due to US shale gas extraction, have further affected the position of gas in the EU power sector.

The aforementioned changes have significant implications and influence the prevailing notion of what constitutes a 'well-functioning' EU gas market. There is a continuous push towards establishing a competitive gas market through sector regulation, focusing on increasingly unbundled pipeline, storage, and LNG infrastructure, as well as competition policy, addressing the dominant positions of major suppliers and traders in the industry. This suggests that investments in new supply infrastructures hinge heavily on investor and Transmission System Operator (TSO) expectations regarding their usability in light of future gas flows, as well as regulatory decision-making.

Considering the substantial demands for transport, storage, and LNG infrastructure stemming from the objectives outlined in the Energy Union plan to secure gas supply internally and connect liquid market areas, it seems unlikely that private entities will willingly make the necessary investments. On the supply side, the interest of producers and traders in supplying gas to the EU market is heavily influenced by both demand and price expectations. However, uncertainty persists regarding future gas usage due to ambitious objectives to move away from fossil fuels, the stable state of the European economy, and the current disadvantage of gas in power generation compared to zero-marginal cost renewables and low-cost coal.

Apart from traditional suppliers like Russia and Norway, there are limited alternatives for pipeline supplies due to political instability in many potential producing countries and transit issues. Indigenous supply is depleting, leaving LNG as the primary option for future supply, either through reliable long-term contracts or spot cargoes at world market prices. However, long-term contracts require demand certainty to justify investments and willingness to pay, which are challenging to fulfill in the current context. Spot contracts entail risks, as the current oversupplied gas market may lead to low prices, though this could change.

Overall, the overarching insight from this long-term perspective on the evolution of European natural gas policy is that a strongly regulated version of a 'well-

functioning' gas market remains a highly politicized and unstable experiment. The values attributed to natural gas as an energy source in the European economy are constantly shifting between economics, security of supply, and sustainability. Additionally, the significance of these values and their implementation varies across different parts of Europe. Consequently, the creation of a 'well-functioning' gas market will persist as a highly politicized and ongoing endeavor.

4.2 Main prospects of the LNG gas market

Natural gas, a hydrocarbon known to humanity for millennia, has been utilized in various ways throughout history. One of the earliest recorded uses was in Delphi, where natural gas seeped from a rock crevice and fueled a flame believed to inspire prophecies at a temple. The mysterious nature of these flames led many cultures to attribute them to divine sources. However, by around 500 BCE, the Chinese had already begun to harness the potential of natural gas. They developed a rudimentary system for transporting natural gas to heat water, which they used to extract salt from seawater. The commercial extraction of natural gas began in the mid-19th century, marking the start of its significant role in the energy markets. Since then, natural gas has become increasingly important in the energy mix of the world's largest economies.

Global economic growth has driven up the demand for energy products, leading to a continuous increase in the consumption of primary energy. In 1965, the global consumption of primary energy was 3,729 Mtoe. By 2014, this figure had risen to 12,928 Mtoe, nearly 3.5 times the consumption level of 50 years earlier. Chart 1 illustrates the changes in primary energy consumption from 1965 to 2014, highlighting the differences between each decade's final year and 2014. This rising energy demand is a direct consequence of economic expansion, as increased production scales have led to greater global energy needs. Variations in the annual global GDP growth rates are mirrored by corresponding fluctuations in primary energy consumption, a trend that was particularly evident during the global economic crisis at the end of the last decade.

In the past 35 years, the global economy has experienced only one period of regression, which occurred in 2009 when the gross domestic product (GDP) decreased by 0.1%. Despite this, the global economy has grown at an average annual rate of 3.48%, accompanied by a 1.92% annual increase in primary energy demand. The distribution of energy resources, especially hydrocarbons, around the world prevents most countries from meeting their energy needs with domestic resources alone. The five countries with the largest crude oil reserves hold nearly 62% of global deposits,

while ten countries account for 85%. Natural gas resources are similarly concentrated, with the top five countries holding over 63% of global reserves and the top ten holding over 79%. Coal deposits are even more concentrated, with the top ten countries possessing over 91% of global resources.

This uneven distribution of energy resources, coupled with the growing demand for energy, has necessitated international trade in resources, fuels, and other energy products. Hydrocarbons play a crucial role in the global energy mix, accounting for 86.3% of primary energy consumption in 2014, driving the continuous growth in international trade volumes. Today, most countries must import energy resources. In 2014, Russia was the only one of the ten largest economies that was a net exporter of all described hydrocarbons. The United States, the world's largest economy, imported 39% of its crude oil demand and 4% of its natural gas, despite being a net exporter of coal. The shale revolution in the U.S. has significantly increased natural gas production and reduced domestic demand for coal, making the U.S. the largest natural gas producer with a 21.4% share in 2014, up 6.1% from 2013.

China imports 62% of its oil, 6% of its coal, and 27% of its natural gas. Japan, the third-largest economy, is almost entirely dependent on imported hydrocarbons, especially after the Fukushima nuclear disaster in March 2011 increased its demand for natural gas. Several European countries also exhibit high levels of import dependence. Germany imports 100% of its oil, 89% of its natural gas, and 43% of its coal. France can only meet 1% of its domestic energy needs with its own resources. Italy imports 90% of its oil, 100% of its coal, and 88% of its natural gas. The situation is slightly better in the UK, where domestic production meets 57% of oil and 55% of natural gas demand, but 76% of coal is imported. In Brazil, 27% of oil, 79% of coal, and 49% of natural gas are imported. India, despite being the third-largest coal producer, imports 32% of its coal, 37% of its natural gas, and 77% of its oil [122].

The global demand for energy resources has led to the development of various transportation models for each resource in international trade. Due to their physical properties, these models vary. Oil has been transported by sea, rail, and pipelines since the 19th century. Coal, due to its nature and early commercial use, has long been

transported overland and by sea, with its industrial use boosted by the 18th-century industrial revolution. The large-scale transport of natural gas developed much later. Initially used locally due to its properties, the breakthrough came in the late 19th century with the construction of leak-proof pipelines up to approximately 160 km long. The 1920s and 1930s saw the development of a natural gas system in the United States. Natural gas gained popularity as a key fuel 30 to 40 years later, with global consumption rising by 83% between 1965 and 1975. This was driven by increased production in countries with significant natural gas reserves, such as the Soviet Union and the USA, the first oil crisis highlighting the need for alternative energy sources, and the development of pipelines from Soviet natural gas sources, a trend that continues with Russia. The 1970s marked the beginning of large-scale international trade in natural gas, significantly increasing consumption in countries without sufficient domestic production.

Liquefied natural gas (LNG) is poised to hold long-term strategic importance for the European Union, particularly in ensuring economic development and energy security. To this end, EU member states are enhancing their energy infrastructure to secure access to global LNG markets, providing each country with direct or indirect (through intermediate countries) access to overseas LNG supplies. The utilization of this infrastructure will largely depend on global energy prices.

The increased availability of LNG will boost competition in the gas market, promoting market-based pricing. This competition could potentially lower prices, especially in the initial stages. Therefore, it is in the European Union's interest to develop energy infrastructure that allows for the importation of LNG by sea from various directions and sources, ensuring its flexible economic use. Additionally, new installations will be built to expand the use of LNG as a fuel in road, rail, and maritime transport, as well as in local heat and electricity generation. Establishing appropriate supply chains for LNG is crucial for this purpose [123].

Environmental considerations are also significant. LNG is the cleanest fossil fuel in terms of emissions, thanks to its production process, which involves liquefying and refining natural gas to remove acidic gases, sulfur compounds, water, and mercury.

Consequently, burning LNG results in lower emissions of harmful substances (such as carbon dioxide, nitrogen oxides, sulfur dioxide, and ash). This, coupled with the growing versatility of its applications, makes LNG a vital fuel for the economy.

The goal of this chapter is to present the role of LNG in European Union policy. The direction of these activities will impact not only the EU energy market but also global markets. The importance of LNG terminals on the common EU energy market. LNG terminals play a pivotal role in the unified EU energy market by bolstering energy security and fostering competition, thereby ensuring market-driven pricing for the commodity across Europe. R. Dohms highlights that the functionality of the unified EU energy market hinges on unrestricted access to and the fluidity of energy resources and electricity. Research conducted by S. Dorigoni, C. Graziano, and F. Pontoni suggests that even with higher prices for LNG supply compared to pipeline natural gas, LNG exporters' access to the natural gas market will enhance market competitiveness under certain conditions: the entry of new competitors, the development of the spot market, and declining costs associated with LNG. The researchers also underscore the growing significance of spot transactions in the natural gas market, indicating their pivotal role in the liberalization of the EU energy market [124].

However, questions arise regarding whether the development of LNG terminals will foster integration or fragmentation of the natural gas market in Europe. An analysis of LNG terminal infrastructure development in the European Union reveals that countries with advanced liquefied gas import facilities, such as Spain, France, Italy, and Portugal, exhibit limited interconnectivity with neighboring countries, with France and Italy lacking a gas connection. Moreover, the throughput capacity of interconnectors between Spain and Portugal is low, and their gas systems' interconnector at Badajoz is contracted until 2035. This suggests that the Iberian and Apennine Peninsula countries may intend to regionalize their gas markets and are hesitant to expand interconnections due to concerns about market competition. Consequently, the development of LNG terminals could potentially delay the establishment of a unified EU energy market, prolonging its regionalization phase.

However, despite this, the global utilization of LNG terminal import capacity was only 35% in 2013, with Europe's ratio even lower, below 25%. Nonetheless, in the event of a political crisis disrupting supply from major sources to Europe, the import potential of LNG terminals would become invaluable. In such a scenario, the combination of entries into the gas system via LNG installations and natural gas interconnections would facilitate the distribution of required resource quantities to destination countries. This underscores that a geopolitical crisis would fundamentally alter the impact of LNG terminals on the integrated energy market and significantly increase the utilization of their import potential. Under stable political conditions, LNG terminals will be utilized to the extent deemed profitable by importers in EU countries, thereby constituting a strategic energy infrastructure aimed at ensuring the diversification of EU natural gas supply sources [125].

In February 2016, the European Commission unveiled the "EU strategy for liquefied natural gas and gas storage," a crucial component aimed at ensuring the security and diversification of natural gas supplies. Previous strategic documents had consistently highlighted the imperative to enhance energy security and broaden the spectrum of both the direction and sources of natural gas supply.

As far back as 2003, the EU recognized the potential of liquefied gas in its document "European Energy and Transport Trends to 2030," forecasting a significant role for LNG in integrating regional gas markets. Subsequent projections in 2007 emphasized the gradual development of the global LNG market over time. A 2014 forecast stressed the necessity of expanding infrastructure in European countries to accommodate the development of LNG fuel for road transport. In 2011, the European Commission reiterated the importance of extending connections between EU natural gas networks and third-party countries through the construction of new gas pipelines and LNG terminals, emphasizing the substantial impact of LNG on the global natural gas market. The Regulation of the European Parliament and of the Council (EU) no. 347/2013 highlighted the increasing significance of energy storage facilities and liquefied natural gas (LNG) reception, storage, regasification, or decompression facilities in European energy infrastructure. In the European Energy Security Strategy

of 2014 and the European Energy Union (EEU) project of 2015, LNG supplies were recognized as crucial for diversifying natural gas supply to Europe. Public consultations began in July 2015 regarding the EU strategy for utilizing LNG and natural gas storage facilities within the framework of the EEU, stressing the key role of LNG in diversification, continuity of supply, and enhanced competitiveness in the gas market. The European Union is committed to ensuring that all member states, including Bulgaria, Croatia, the Czech Republic, Estonia, Finland, Hungary, Latvia, Romania, Slovakia, and Slovenia, gain access to LNG importation, either directly or indirectly through neighboring countries. Enhanced regional cooperation and increased interconnectors will be vital to achieving this goal. The EU acknowledges existing barriers faced by potential new LNG suppliers at the terminal level, such as supply contracts, access to gas transmission systems, and storage facilities. Overcoming these barriers will optimize LNG terminal utilization. Furthermore, the EU recognizes LNG as an attractive alternative to existing fuels, particularly in sea transport. However, addressing barriers related to bunkering capacity, regulatory frameworks, and standardization across supply chains will be essential to expanding its use. Lastly, the document underscores the strategic importance of storage facilities in ensuring energy security, culminating in the announcement of the "EU strategy for liquefied natural gas and gas storage" in February 2016 by the European Commission [126].

The model for integrating the common EU energy market envisions the expansion of energy infrastructure to facilitate bidirectional and flexible exchange of energy resources. This integrated market will operate on the principles of market competition, established through appropriate regulatory frameworks resulting from market liberalization processes. The wholesale market, anchored by energy exchange markets and hubs, will play a pivotal role. An integrated energy market model must incorporate a robust natural gas security system that extends beyond neighboring countries. This entails recognizing the significant role of the LNG market alongside onshore and submarine pipelines and natural gas interconnectors, ensuring access to global natural gas resources. D.A. Wood highlights that LNG witnessed consistent growth from 1990 to 2010 at a global rate of 7.2% annually, with even higher growth

projected by 2020. Liquefied gas will be instrumental in the integrated market model, facilitating rapid access to additional gas supplies through LNG terminals. In the event of a long-term energy crisis depleting underground natural gas storage stocks, LNG will serve as a reliable element of the security system. It will emerge as a viable alternative to diesel oil and compressed gas, becoming a major fuel in road, maritime, and aviation sectors.

Its prominence in road transport will continue to rise alongside increasingly stringent environmental standards for combustion fuels, mirroring trends in air and maritime transport. This is evident in Directive 2012/33/EU, which mandates a reduction in sulfur content in marine fuels, paving the way for broader adoption of LNG fuel in maritime transport. In Northern European ports, fixed LNG bunkering stations are being established, with Stockholm among the first to offer liquefied gas bunkering using the vessel-to-vessel method. In the Baltic Sea region, Sweden currently offers bunkering services with LNG, with Poland poised to join through its Świnoujście LNG terminal. Providing these services is expected to yield significant revenue for service providers, including ports [127].

The integration model for the common EU energy market will likely introduce more legislative acts favoring low-emission fuels like LNG. Consequently, the development of the liquefied gas market in Europe hinges on expanding infrastructure to ensure efficient transport and distribution of this fuel across regions and countries.

LNG terminals play a crucial role in diversifying the sources of natural gas supply, granting importers access to global markets. This is particularly vital for EU nations that have previously faced disruptions in natural gas supply due to conflicts involving Russia and Ukraine or Russia and Belarus. Liquefied gas terminals enhance Europe's energy security by bolstering the stability of gas supply. The International Energy Agency (IEA) underscores that LNG terminals act as a safeguard against risks associated with disruptions in natural gas supply. The IEA has developed the Model of Short-term Energy Security (MOSES), which highlights that LNG terminals serve as vital entry points to the gas system, enabling the diversification of natural gas suppliers. Consequently, countries with more avenues for importing gas are more resilient to

disruptions in this domain. Among EU member states, Spain stands out for its significant reliance on liquefied gas supplies. Thanks to a well-established energy infrastructure allowing both pipeline imports and LNG terminal access, Spain boasts the most diversified gas system in Europe, importing from 11 different countries in 2014. In the event of a geopolitical conflict leading to political instability in either the country exporting natural gas via pipelines or the transit country, the impact of LNG terminals on the EU's gas supply security would be even more pronounced. Assessing the current global landscape, potential armed conflicts or political destabilization are most probable in Northern African countries and the Russian Federation. Russia frequently utilizes natural gas supplies as a political tool to exert pressure on consumers and advance political objectives. Regarding southern sources of natural gas supply to Europe, increasing competition is observed among countries with significant recent discoveries of the resource, such as Cyprus, Egypt, Israel, Lebanon, Syria, and Turkey. Additionally, both Algeria and Qatar aim to maintain their positions as stable LNG suppliers to the EU. Furthermore, countries investing in LNG export infrastructure, including the US, Canada, and Australia, are keenly interested in accessing the European market. The expansion of the international liquefied gas market has intensified competition among LNG exporters vying for end customers. With the discovery of more confirmed natural gas reserves, competition among nations has escalated significantly in recent times. The emergence of numerous entities offering liquefied gas supplies on global markets has spurred the construction of new gas liquefaction terminals. Presently, the primary LNG exporters globally include Qatar, Malaysia, Australia, Nigeria, Indonesia, Trinidad and Tobago, Algeria, Oman, and Yemen, with additional countries planning to develop facilities to export liquefied gas. Consequently, competition among LNG exporters is on the rise, potentially leading to heightened political tension and increased armed conflicts worldwide. In Europe, a battle for end customers is also underway between pipeline natural gas exporters and exporters of liquefied gas transported via sea through LNG terminals. This competition is advantageous for consumers as it disrupts monopolistic practices prevalent among some gas companies in the European natural gas market. Additionally, it has resulted

in the establishment of two price tiers in the EU market: one for natural gas supplied via pipelines under long-term contracts, indexed to crude oil and its derivatives prices, and another for natural gas under short-term contracts, increasingly tied to wholesale market prices [128].

Since 2008, the price of natural gas under short-term contracts has been lower compared to that supplied under long-term contracts by Russia, Norway, and Algeria, which traditionally index prices to crude oil. This has prompted the renegotiation of prices for long-term gas contracts, particularly with Gazprom, the Russian exporter, known for including unfair clauses in its long-term contracts. Consequently, LNG terminals have significantly enhanced competition in the natural gas market, leading to lower prices for the resource in the European market under short-term contracts. This, in turn, exerts greater pressure on negotiations with suppliers offering natural gas under long-term contracts. Thus, from the perspective of natural gas-importing countries, having an energy infrastructure that fosters competition among various exporters is crucial. Countries lacking the technical capability to import natural gas from multiple sources and directions, relying instead on a single source, have limited bargaining power in negotiations with exporters. Such dependence allows exporters to dictate contract terms, including exerting political pressure or threatening supply disruptions [129]. Therefore, expanding energy infrastructure and implementing appropriate regulations are imperative for EU countries to ensure competitive development in the natural gas market. As the number of terminals in Europe grows, competition will intensify, leading to transformations in the EU natural gas market. Most European countries have long-term natural gas supply contracts, enabling renegotiation every 2 or 3 years to adapt to changing market conditions. Consequently, the expansion of LNG infrastructure will enhance the bargaining power of European countries in negotiations with existing natural gas suppliers [130].

One strategic objective of the European Union is to enhance its energy infrastructure to maximize the utilization of liquefied natural gas (LNG), which currently stands as the most promising source of gas supply to Europe. The existing and planned LNG facilities ensure supply continuity in emergency scenarios. However, the

distribution of gas imported via sea is constrained by the pipeline capacity between countries with significant LNG import potential and other EU nations. Therefore, expanding the natural gas transmission infrastructure could enhance supply reliability in regions where pipeline-based supply might face disruptions [131]. Central and Eastern European countries exhibit the weakest LNG infrastructure, posing a higher risk of supply disruptions during geopolitical crises. Conversely, under political stability, this may lead to reduced competitiveness in the gas market, particularly in the absence of adequate bidirectional flow capacities at interconnections. Consequently, the European Union aims to streamline the development of energy infrastructure to facilitate flexible energy resource transfer, alternative fuels, and electricity. Another EU objective is to establish a network of LNG refilling stations in seaports by 2025 and inland ports by 2030. These stations are anticipated to include LNG terminals, tanks, mobile containers, bunker ships, and barges [132]. Member states are expected to expand their LNG transmission networks and establish a distribution system between storage facilities and LNG refilling stations. It is estimated that LNG refilling stations should be spaced at least 400 km apart, with the EU aiming to establish a significant number of publicly available LNG refilling stations within the TEN-T network by December 31, 2025. To reduce oil usage in transportation and foster alternative fuels, the European Commission adopted the Roadmap to a Single European Transport Area in March 2011, aiming for a competitive and resource-efficient transportation system. Achieving these goals necessitates substantial investment in expanding liquefied gas infrastructure, including low-scale distribution, which will significantly influence the pace of LNG market development in Europe. Establishing an appropriate supply chain for LNG is paramount for the development of a distribution system in Europe. Ensuring efficient supply chain design, as highlighted by experts like R. Jokinen, F. Pettersson, and H. Saxen, is crucial for cost-saving in investment and operating expenses. A typical low-scale supply chain should encompass a large LNG import terminal, small LNG terminals, and a fleet of ships and trucks for liquefied gas transportation [132].

European Union member states have the capacity to import 490 billion cubic meters (bcm) of natural gas annually through pipelines and 197 bcm using LNG

terminals. At present, Spain, France, Portugal, and Great Britain possess the most advanced technical capabilities for importing liquefied gas. However, the proportion of LNG in total gas consumption varies across countries, with Spain and Portugal utilizing about 50%, while the Netherlands utilizes less than 3%. Central and Eastern European countries, except for Lithuania with its newly established LNG terminal, currently lack access to LNG imports. Establishing a liquefied gas trading hub depends on having sufficient energy infrastructure. Spain, Great Britain, Sweden, the Netherlands, France, and Norway (though not an EU member) possess the most developed LNG infrastructure in Europe. These countries not only have LNG import terminals but also have systems facilitating small-scale distribution for maritime and road transport. However, the establishment of LNG trading hubs necessitates an expansion of LNG infrastructure and sufficient capacity of pipelines or gas distribution networks. Presently, gas hubs in Europe, whether physical or virtual, primarily serve as points for gas off-take and trading on the wholesale market [133].

Analyzing the European landscape, potential LNG trading hubs could emerge in countries like Great Britain, Spain, Sweden, France, the Netherlands, Belgium, and Italy. For instance, Rotterdam, with its advanced National Balancing Point (NBP) and robust infrastructure, has become a pivotal gas hub in the northwest EU region. Although most LNG infrastructure is concentrated in specific countries, efforts are underway to expand LNG installations in Portugal, Finland, and Germany. In Central and Eastern Europe, Poland is poised to become a regional LNG trading hub, leveraging collaboration within the Visegrad Group and Eastern Partnership [134].

Projects related to LNG infrastructure development may receive EU funding if they qualify as Projects of Common Interest (PCIs). These projects aim to contribute to EU energy policy objectives, enhancing energy market integration, and reducing carbon emissions. The European Commission's Connecting Europe Facility (CEF) supports such projects, replacing the former Trans-European Transport Network (TEN-T). Many LNG-related projects have received EU funding, indicating the EU's commitment to advancing LNG infrastructure and energy market integration.

4.3 Prospective directions of the use of geothermal resources in Ukraine

Introduction

In the current economic conditions of Ukraine in order to achieve energy independence it is necessary to actively introduce renewable energy sources and, first of all, geothermal energy resources into the energy cycle.

For the effective development of geothermal resources, we should rely on the previous positive experiences of Ukraine and other countries of the world - the leaders in the development and use of the latest technologies for the extraction and utilization of geothermal energy (USA, Iceland, China, France, Turkey).

The large-scale use of geothermal resources in various countries of the world has led to the sophistication of hydrothermal extraction technologies, the development of new high-performance well designs, the need for forced extraction of geothermal fluid, the stimulation of low-permeability hydrothermal collectors, the widespread implementation of geothermal circulation systems (GCS) and equipment for the efficient extraction of thermal energy from igneous intrusive rocks.

Literary data analysis [135] and previous developments [136], made it possible to adjust the general and technically possible potential of geothermal energy of Ukraine and to determine the most promising directions for the development and implementation of geothermal energy, as well as to establish a list of the most effective modern technologies for achieving a positive result. According to expert assessments, the theoretically possible energy potential of geothermal energy in Ukraine is more than 40 GW in terms of capacity, and the economically feasible potential is about 10 GW [2]. The most promising regions for the development of geothermal energy in Ukraine are Zakarpattia, Prykarpattia, Sumy, Chernihiv, Kherson, Donetsk, Luhansk and Poltava regions.

Objective. The scale of thermal and electrical energy production at a specific deposit depends on many factors, such as the geology of the area, the average annual temperature of the surrounding environment, the flow rate and temperature potential,

the quality of the geothermal fluid (mineralization, chemical composition, gas saturation, hardness, acidity and corrosive activity in relation to structural materials). The infrastructure in the area of geothermal heat energy complex construction and the distance to perspective energy consumers are also important. Therefore, taking into account the above, the main direction of application of geothermal energy in Ukraine is small power generation, within which it is possible to create local geothermal energy complexes for the production of electric and thermal energy, the extraction of useful mineral compounds, as well as the use of thermal waters in the social sphere and balneology.

In this case, the main consumer of energy of local geothermal energy complexes will be heat and electricity supply enterprises of housing and communal services, agro-industrial complex and industrial enterprises of local importance.

Figure 1 presents the energy potential of geothermal energy in Ukraine, promising areas of use and the necessary temperature potential of geothermal fluid in various technologies.

At a thermal water temperature of 20°C and above it can be used in combination with heat pumps; at temperatures of 30...50°C – in the underfloor heating system; at a temperature of 55...70 °C – in hot water supply. At a thermal water temperature of more than 80 °C, it is widely used in the agro-industrial complex (dryers, greenhouses). At the temperature of 100...120°C thermal water can be used to produce electricity and obtain artificial cold using absorption chillers.

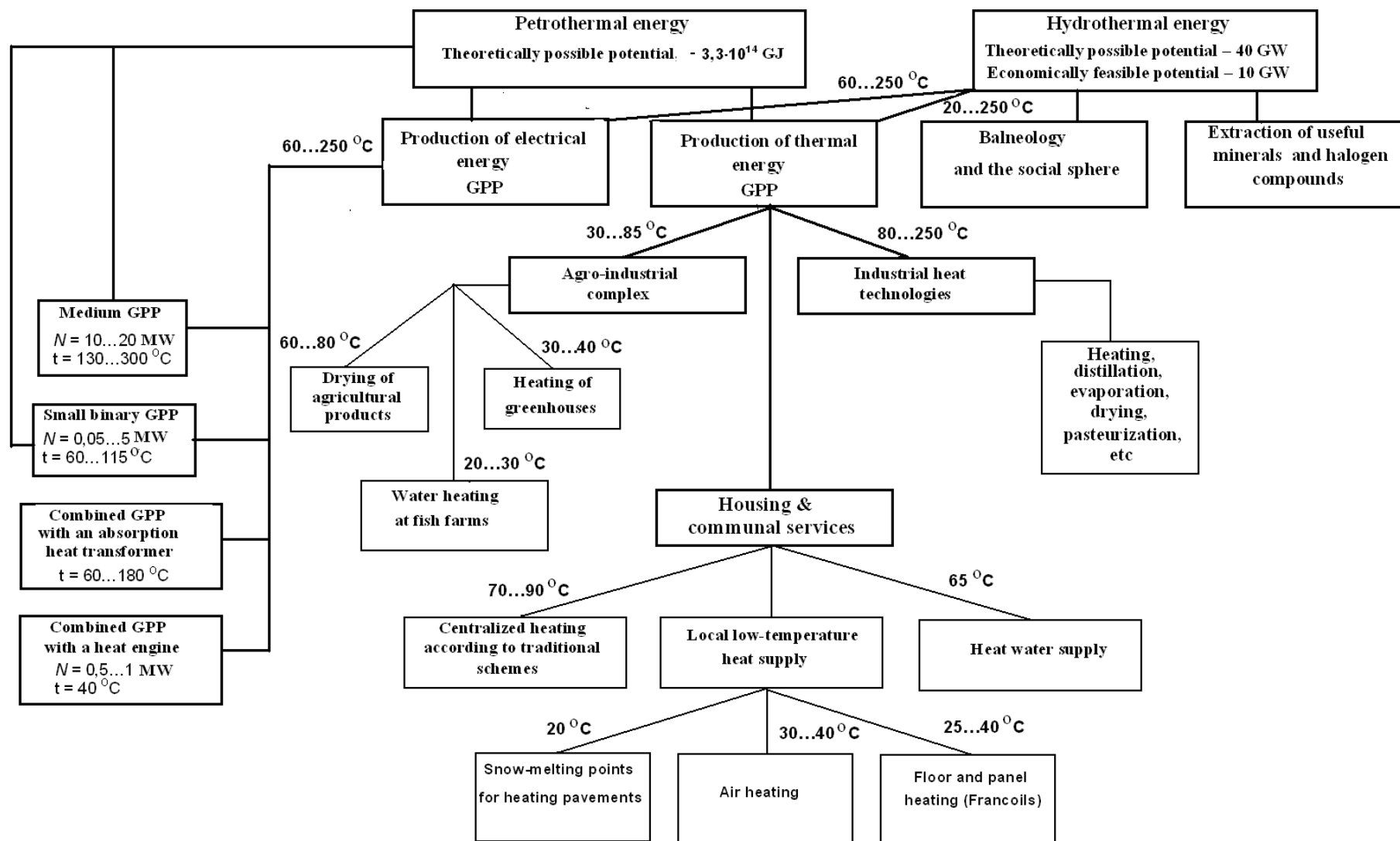


Figure 1. Energy potential of geothermal energy of Ukraine and prospective directions of its use.

Methods. In order to determine the areas of priority development of geothermal resources, it is necessary to establish indicators or selection criteria that will allow performing technical and economic calculations, as a result of which the capacity of the geothermal energy complex, the cost of its products and the payback period will be established.

The main criteria for the selection of objects for priority development of geothermal resources, including with the help of inactive wells in oil and gas fields, are:

1. The real scale of reserves of geothermal fluid, its energy potential, thermal energy and physicochemical properties of geothermal fluid, and characteristics of the rocks of the water-bearing horizon, which were determined during experimental pumping of the well. The number and location of inactive and preserved wells.

2. The presence and distance of potential consumers of thermal and electrical energy from the deposit, the scale and technical characteristics of their needs.

3. The possibility of introducing modern technologies for the extraction and utilization of hydrothermal energy and a share of the thermal energy of rocks of the framework of the aquifer at the given deposit, as well as the possible feasibility of extracting combustible gases and hydrocarbon compounds dissolved in the geothermal fluid.

4. Technical condition and construction of wells.

5. List and methodology for determining the technical and economic indicators of the proposed methods and means of extraction and utilization of geothermal energy.

When determining the feasibility of arranging the industrial production of geothermal energy and its use in the electricity and heat supply systems of housing and communal services, the agro-industrial complex or in other areas, it is necessary to identify the list of possible consumers, their distance from the deposit and wells that are expected to be used in the project, as well as the value of the maximum thermal and electrical loads, the temperature schedule, the nature and terms of consumption of thermal loads.

The list of modern technologies, which are successfully used in the world, and which, in our opinion, should be used in Ukraine should include:

- introduction of geothermal circulation systems (GCS) technologies with injection of spent (cooled) geothermal fluid into the aquifer;
- introduction of technologies of two-circuit systems of geothermal energy supply using corrosion-resistant heat exchangers and pre-insulated pipelines made of high-strength composite materials;
- implementation of GCS technologies using downhole coaxial heat exchangers of the "pipe-in-pipe" type;
- development of technologies for the construction of high-throughput wells with horizontal or inclined shafts in the aquifer;
- transfer of a significant number of individual inactive wells of oil and gas fields to the production of geothermal energy with the help of deep coaxial heat exchangers of the "pipe-in-pipe" type and the creation of a circulation circuit with an intermediate coolant;
- implementation of modern binary medium and small power Geoelectric Power Stations based on serial energy modules, for example "Obcom Powerbox", Sweden or "Ormat", Israel and production of such equipment in Ukraine;
- introduction of heat pump technologies to increase the temperature potential of the heat carrier based on vapor compression heat pumps or absorption thermotransformers;
- development and implementation of complex technologies for utilization of geothermal energy and extraction of useful hydro-mineral resources.

Results.

In Ukraine, the vast majority of geothermal resource deposits are highly mineralized, where the content of mineral compounds exceeds 40 g/l, and in the deposits of the Dnipro-Donetsk Basin (DDB) it reaches 150...300 g/l [137]. Considering the ecological aspect, there is no alternative to the introduction of geothermal circulation systems with the injection of spent highly mineralized thermal waters into the aquifer.

Geothermal circulation systems are designed to deliver geothermal fluid from an aquifer to the surface of the earth, extract heat and forcibly return it to the reservoir, i.e. create a closed circulation circuit: aquifer – extraction well – heat exchanger – pump – injection well. The simplest scheme of the GCS is presented in fig. 2.

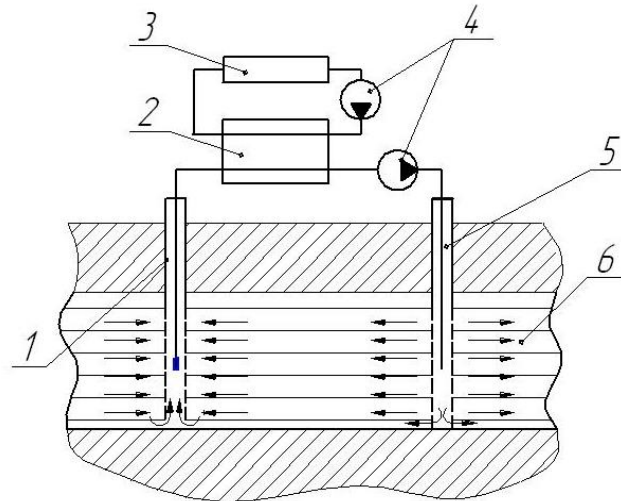


Figure 2. Technological scheme of the circulation system (GCS):

- 1 – production well with a submerged pump; 2 – geothermal energy heat exchanger;
- 3 – thermal energy consumer; 4 – circulation pumps;
- 5 – injection well; 6 – aquifer.

Thanks to the organization of such contours, almost all the heat of the geothermal fluid is removed, as well as part of the heat of the earth's interior, which refers to petrothermal energy reserves. In addition, as a result of the circulation of the geothermal fluid in the formation, a constant pressure is maintained, which allows to significantly (by 2.5...3 times) increase the flow rate of the well and, accordingly, the amount of extracted thermal energy [138].

The next step on the way to increase the productivity of geothermal production is the creation of a GCS with several wells that are drilled at a small distance from each other and have an oblique direction of the shaft in the opposite direction with the location of the bottom of the wells in one aquifer, thus increasing the drainage surface of the productive layer, which leads to an increase in the flow rate of the well due to an increase in the area of the active bottom, and a significant reduction in capital costs

for the installation of a geothermal heat point. Such systems have a successful history of operation in the geothermal heat supply system of one of the industrial districts of Paris.

The scheme of the GCS with obliquely directed wells is shown in fig. 3.

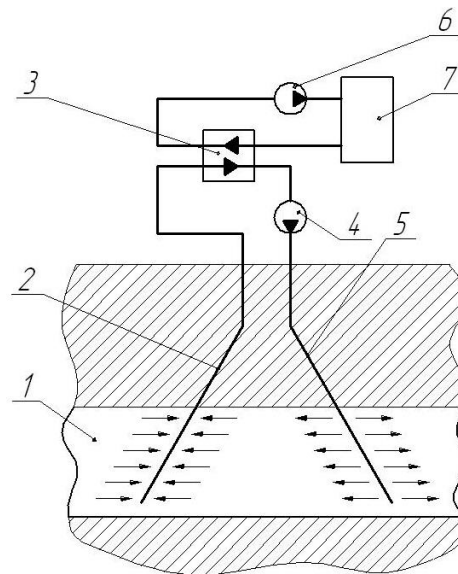


Figure 3. The scheme of the GCS with obliquely directed wells:

- 1 – productive layer; 2 – production well; 3 – heat exchanger; 4 – GCS pump;
5 – injection well; 6 – circulation pump; 7 – consumer.

It is possible to increase the debits of individual wells by creating a horizontal well shaft along the aquifer. The length of the horizontal shaft can be several hundred meters, which allows you to increase the drainage area tenfold and significantly increase the productivity of the well.

A promising method of improving the technical and economic indicators of geothermal energy production is the technology of double-circuit heat supply with GCS and borehole heat exchangers of the "pipe-in-pipe" type, presented in fig. 4.

Borehole heat exchangers of the "tube-in-tube" type are easy to manufacture, reliable in operation, and the capital costs for their installation do not exceed the costs of shell-and-tube heat exchangers manufacturing. Smaller-diameter wells are lined with a production column of pipes from the wellhead to the bottom. An intermediate column is lowered into the gap between the large-diameter pipes and the operating column, which does not reach the bottom of the heat exchanger. The outer column of

heat exchanger pipes simultaneously performs the function of a conductor, which serves to overlap unstable upper rocks.

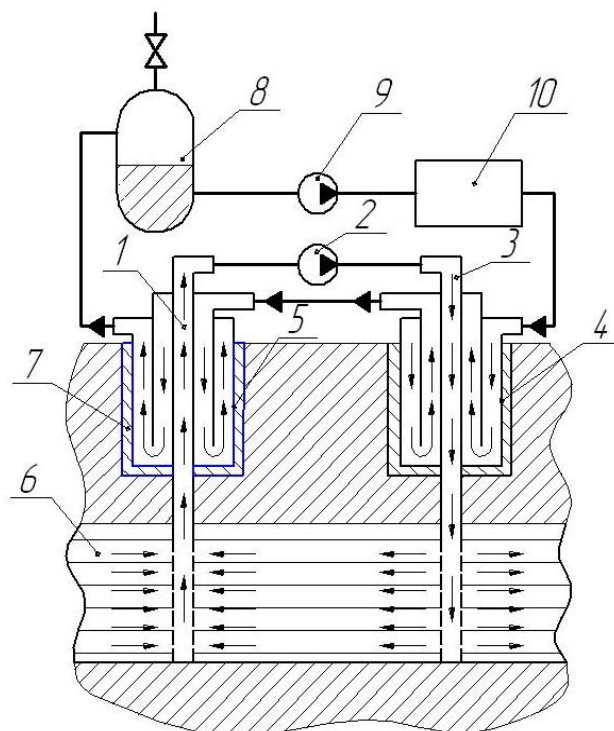


Figure 4. Schematic diagram of a two-circuit system of geothermal heat supply with a closed GCS and internal borehole heat exchangers:

- 1 – production well; 2 – injection pump; 3 – injection well; 4, 5 – borehole heat exchangers of the "pipe-in-pipe" type; 6 – water-saturated layer;
- 7 – cementation zone of the annular space;
- 8 – battery tank; 9 – circulation pump; 10 – consumer.

The disadvantages of the above-mentioned technologies are the rather high energy consumption of the process of pumping spent geothermal fluid into the water-saturated layer and a possible drop in the temperature potential of the deposit, the start of which is determined by the thermophysical properties of rocks and the volume of geothermal fluid reserves.

An alternative technology of geothermal energy production is the creation of deep well heat exchangers in individual inactive wells of oil and gas condensate fields. The depth of these wells in Ukraine is in the range of 2...6 km with layer temperature

90...250 °C. The technological scheme of a single-well geothermal heat point with a built-in deep heat exchanger is presented in Fig. 5.

The creation of a deep well heat exchanger involves the installation of an additional central riser pipe in the production column, which does not reach the cemented end of the production column. The intermediate cooled coolant is fed into the intertube space of the coaxial heat exchanger by pump 5. Having reached the lowest point, the coolant enters the lower opening of the riser pipe and rises to the surface due to the thermal lift and circulation pump. Thus, a closed circuit of the intermediate heat carrier is created, circulation in which is carried out with the help of circulation pump 5, the energy consumption for the drive of which should cover only the energy losses due to hydraulic resistance, consisting of hydraulic losses due to the friction of the liquid against the walls of the heat exchanger, local losses when the movement of the heat carrier changes and the hydraulic resistance of the surface heat exchanger 6, which transfers the extracted thermal energy to the consumer.

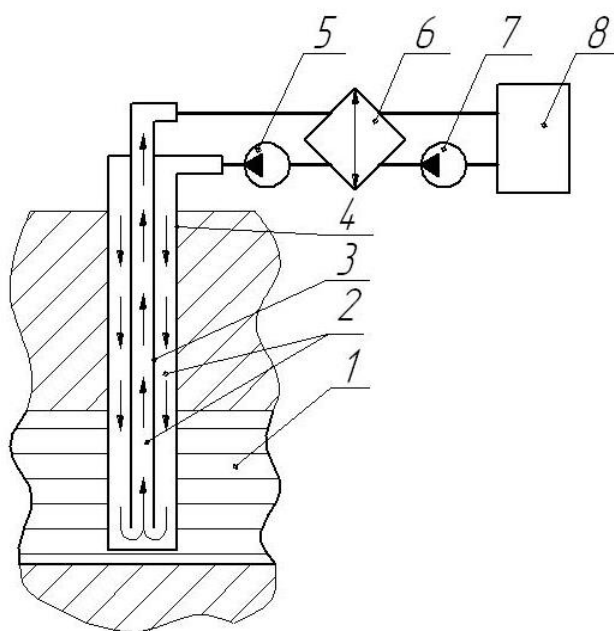


Figure 5. Technological diagram of a single-well geothermal heat point with a built-in deep heat exchanger:

- 1 – productive layer; 2 – deep heat exchanger; 3 – lifting pipe; 4 – production column; 5 – pump; 6 – heat exchanger;
7 – circulation pump of the heat supply system; 8 – consumer.

The disadvantage of this technology is the lack of circulation of the geothermal fluid in the heat extraction zone, which can lead to a gradual decrease in the temperature of the coolant at the exit from the well. To eliminate this phenomenon, it is necessary to switch to a seasonal period of well operation: autumn-winter - heat consumption; spring-summer is the season of renovation of the temperature of the borehole zone due to the heat of the Earth.

When implementing all the above technologies, modern corrosion-resistant materials should be used for the manufacture of heat exchangers and pipelines from composite materials and modern heat-insulating materials.

In the case when the geothermal fluid has high gas saturation and mineralization, the volumes and list of components of the geothermal fluid to be extracted and disposed of, as well as methods and means of disposal, should be determined based on the actual flow rate of the well. First of all, attention should be paid to the combustible gases extracted from the geothermal fluid when the pressure changes, and useful chemical compounds that can be used in industry.

Conclusions

The subsoil of Ukraine contains large reserves of geothermal energy, distributed over almost its entire territory. Prospective regions for the development of geothermal energy in Ukraine are Zakarpattia, Prykarpattia, Sumy, Chernihiv, Kherson, Donetsk, Luhansk and Poltava regions. According to experts, the possible energy potential of geothermal energy in Ukraine is more than 40 GW in terms of capacity, and the economically feasible potential is about 10 GW.

A significant reserve of geothermal energy production are conserved wells on the territory of gas fields; there are several thousand of them in the territory of Ukraine. Depleted oil and gas fields, even after their complete closure for hydrocarbon extraction, remain an important energy resource, primarily for the regions where they are located, and when developing state policy and relevant measures at the state level, and a resource for the entire fuel and energy complex of Ukraine.

4.4 Directions of modernization of the coal processing industry of Ukraine on the basis of advanced coal enrichment technologies

Формування якості вугільної продукції на всіх етапах її виробництва є одним з головних економічних чинників, оскільки споживча цінність вугілля для будь-якого напрямку використання визначається, насамперед, теплотворною здатністю, яка залежить від вмісту в ньому органічної маси.

Основним виробничим процесом підвищення якісних властивостей вугільної продукції та приведення їх у відповідність з вимогами споживачів є вуглезбагачення. Зокрема, коксохімічне виробництво потребує зниження зольності вугільного концентрату і вмісту сірки, підтримки оптимального марочного складу коксової шихти з підвищенням частки пісного спікливого вугілля, запаси якого в Україні обмежені. Виробництво електричної та теплової енергії потребує зниження вологи до певних рівнів (оскільки вугілля з підвищеним вмістом вологи зменшує ефективність віддачі тепла при спалюванні в котлоагрегатах) та зольності (відхилення зольності від проектних значень ускладнює процес горіння вугілля і потребує більших витрат топкового мазуту або природного газу для «підсвічування»). Крім того, зниження зольності вугілля лише на 1% за середньої довжини маршруту 50 км дозволяє економити до 40 млн ткм (тонно-кілометрів) залізничних перевезень на рік [139] і, відповідно, заощадити на транспортних витратах.

Аналіз даних щодо розвитку сухих методів збагачення в Україні та за кордоном свідчить, що на даний час не виникло принципово нових способів та обладнання для розділення матеріалів. Головною причиною, яка стримує втілення сухих методів збагачення, є відсутність надійного методу розподілу вугільних і породних фракцій та методики розрахунків параметрів сухої сепарації. Запропонована авторами [140] технологія сухого збагачення вугілля найбільш успішно може застосовуватись за умов, коли міцність вугілля як мінімум на 1,5–2 од (за М.М. Протодьяконовим) нижча за міцність породи.

Технологія розрахована на широкий діапазон продуктивності, виключає затрати на подрібнення. Збагаченню цим методом підлягає вугілля крупністю понад 40 мм. Технологічне обладнання пересувної збагачувальної фабрики [141], розроблене ТОВ «Компанія «УгольТрейд», розраховано на переробку як рядового вугілля, так і для отримання продукції з териконів діючих шахт. Аналогічні міні-комплекси (або набір технологічного обладнання для фабрики) використовуються за кордоном: в США – сепаратори «Ейр Фло», в Європі – «Ведаг» і «Гумбольдт». Орієнтована ціна устаткування – 5 млн дол. США. Вітчизняне устаткування коштує близько 500 тис. дол. США, енергозатрати при експлуатації – 400–500 кВт, при цьому зольність гірничої маси знижується на 15–20%. Очікуваний обсяг переробки по рядовому вугіллю – 45 тис. т на місяць.

У зв'язку з досить активним запитом на сухе збагачення таких матеріалів, як буре і кам'яне вугілля, горючі сланці тощо, компанією НВК «Гравікон» було розроблено повітряну відсаджувальну машину з рухомим решетом – ВОМП-машину. Використання фізичних процесів, характерних для гідравлічного відсаджування, але застосованих у повітряному середовищі, дало змогу отримати відсадкове ліжко, ідентичну ліжку класичних водних повітряно-пульсаційних відсадкових машин. Поділ матеріалу за густиною відбувається не в псевдощільному середовищі, а в класичному відсаджувальному ліжку з поділом матеріалу на важку та легку фракції.

Матеріали, які збагачуються у ВОМП-машинах: буре вугілля, кам'яне вугілля, горючі сланці, водорозчинні ферошлаки тощо.

Перевага збагачувального комплексу на базі повітряної відсаджувальної машини з рухомим решетом перед пневмосепараторами полягає в наступному: висока якість концентрату, близької до мокрих способів збагачення; низьке енергоспоживання – у 3-4 рази нижче, ніж у пневмосепараторів; низька запиленість через використання технології малих тисків [141].

При збагаченні вугілля досягаються параметри концентрату, близькі до показників мокрих методів збагачення. Так на вугіллі зольністю 55% мокрим

методом отримано концентрат зольністю 5,2%. Сухе збагачення в ВОМП-машині дало змогу отримати концентрат із зольністю 6,5%.

Переваги перед прямим конкурентом – повітряними відсаджувальними машинами німецького виробництва Air Jig:

- у обладнанні не використовуються радіоізотопні датчики без яких німецькі машини не можуть функціонувати. Зважаючи на цю специфіку, використання німецьких машин вимагає спеціальних дозволів на ввезення радіоактивних матеріалів;

- висока якість концентрату. На коксівному вугіллі вдається досягти зольності 9-11 %;

- вища продуктивність у 2-3 рази за вихідним з 1м² робочої площі досягається завдяки значній висоті відсадного ліжка в ВОМП-машинах;

- завдяки використанню технології низьких тисків і великої амплітуди енергоспоживання нижче у 2-3 рази. В німецьких машинах амплітуда коливань 3-6 мм, у ВОМП-машинах 30-60 мм.

Слід враховувати, що обмеження для ВОМП-машин такі ж самі, як для будь яких пневмозбагачувальних машин і механізмів, вологість вихідного вугілля не має бути вищою за 7% і не має бути глинистим.

Після потрібного прогону в пневмосепараторі породи терикону отримували концентрат із золою 32%. Переробка цього ж матеріалу на модульній збагачувальній установці дала змогу отримати концентрат із золою 9%.

Процеси сухого збагачення з метою підвищення його ефективності та можливістю зниження зольності у рядовому вугіллі на 15–20% також вивчаються Інститутом «Дніпродіпрошахт» [142].

За останній час значної актуальності набула проблема водно-шламового господарства фабрик у зв'язку із зростанням кількості шламів. Збагачувальні фабрики в більшості випадків мають водно-шламові схеми, що не реконструювались внаслідок зміни гранулометричного складу рядового вугілля. У зв'язку з цим водно-шламові схеми перевантажені циркулюючим шламом

(частка якого з зольністю 35–45% може становити 33%), підготовка його до флотації неефективна. Застосування гвинтових сепараторів має перевагу над процесом відсадки для діапазону крупності вугілля 0,2–3,0 мм [143]. Технологічна схема із застосуванням мокрої гвинтової сепарації дозволяє виключити з користування важкосередовищні сепаратори, скоротити або зовсім виключити операцію флотації шламів і отримати в перспективі потрібну якість енергетичних концентратів (зольністю до 20%). Одним з перспективних та найбільш поширеним при збагаченні дрібних класів вугілля є важкосередовищна відцентрова сепарація [144]. Важкосередовищні гідроциклони при збагаченні вугілля крупністю 0,5–25 мм забезпечують продуктивність понад 80 т/год. Встановлено, що ефективна межа збагачення у важкосередовищних гідроциклонах складає 0,15–0,2 мм. Ефективність використання гідроциклонів підтверджується практикою збагачення тонких зерен піриту крупністю менше 0,5 мм. Перспективною є технологічна схема збагачення вугілля, яка синтезує більшість відомих на даний час нових напрямків та враховує можливість їх використання (в поєднанні або окремо) у вітчизняній практиці. Ця схема враховує: попереднє видалення крупної породи з вихідного вугілля перед акумулюванням; обмеження верхньої межі крупності акумульованого вугілля; двостадійне збагачення крупного класу у важких середовищах; виділення двох концентратів різної якості при збагаченні дрібного машинного класу; класифікацію на гідроциклонах чистих шламів – після збагачувальних апаратів, і засмічених – видалених перед збагаченням; перезбагачення у важкосередовищних гідроциклонах промпродуктів відсадки. Схема розглядається як маловідходна, бо передбачає мінімальні втрати горючої маси у відходах збагачення. Впровадження технології збагачення енергетичного вугілля, що передбачає відсів класу 0–3 мм, і збагачення вугілля крупністю 3–13 мм з наступним змішуванням отриманого концентрату та відсіву дозволить спростити водно-шламову схему фабрики, виключити флотацію і сушку. Експлуатаційні витрати на збагачення скорочуються більш ніж утричі [145].

При застосуванні технологічних схем при збагаченні рядового вугілля п'ятьма машинними класами, замість трьох, знижуються втрати горючої маси з відходами виробництва за рахунок зменшення похибки збагачення машинних класів. Похибка розподілу некондиційних класів в 1,5–2 рази вища, ніж кондиційних [146].

За наявною інформацією з початку повномасштабної агресії РФ у 2022 р. фонд потужностей збагачення вугілля значно скоротився і становить орієнтовно 13 об'єктів (ЦЗФ Октябрська, ЦЗФ Добропільська, ЦЗФ Курахівська, ЦЗФ Мирноградська, ЦЗФ Росія, ЦЗФ Піонер, ЦЗФ Краснолиманська, ЦЗФ Селідівська, ЦЗФ Дзержинська, ЦЗФ Україна, ЦЗФ Червоноградська, ЦЗФ Павлоградська, ЗФ Свято-Варваринська).

Можливості модернізації існуючих збагачувальних фабрик наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Заходи з удосконалення технологій, впроваджені на збагачувальних фабриках

| Фабрика | Вживані заходи | Результати впровадження |
|----------------------------------|---|---|
| ЗФ Піонер | Розроблення і впровадження (паралельно з існуючою технологічною схемою випуску продукції для потреб енергетики) нової схеми для коксування | Розширення асортименту продукції. Підвищення виходу продуктів на 3–5% |
| ЦЗФ Добропільська ЦЗФ Україна | Впровадження технології збагачення рядового вугілля п'ятьма машинними класами. Збезводнювання концентрата на гвинтових шлюзах ШВЛ 2-1000 | Зростання виходу концентрату на 0,5% (з 50,8% до 51,3%) |
| ЦЗФ Октябрська | Рекомендована схема збагачення п'ятьма машинними класами | Покращання якості концентрату вугілля |
| ЦЗФ Червоноградська | Можливість модернізації схеми фабрики із застосуванням двох послідовних двопродуктових сепараторів та одержанням концентратів для енергетичного і хімічного використання. Застосування фільтр-пресу фірми «Парнабі» для обробки частини топких відходів | Підвищення виходу продуктів збагачення на 1–3% |

Продовження табл. 1

| | | |
|-----------------------|--|---|
| ЗФ Свято-Варваринська | Змонтовано й налагоджено осаджувально-фільтрувальну центрифуга AS11-3 виробництва німецької компанії ANDRITZ. Флотаційне відділення переведено на некласифіковане живлення крупністю 0,0-0,2 мм, при виключенні зі схеми гідроциклонів другої стадії класифікації моделі 6В (60 шт.) та двох насосів Mill MAX 10×8-24 (сумарна встановлена потужність електродвигунів – 500 кВт). Завершення третього етапу реконструкції та запуск в роботу двох флотаційних колон. | Збільшення навантаження на фабрику. Переробка до 8,5 млн тонн рядового вугілля за рік без зменшення ефективності виробництва. Покращення зольності концентрату на 2-3%. Зниження витрат електроенергії на роботу гіпербаричних фільтрів |
|-----------------------|--|---|

За технологічними операціями збагачення можна впроваджувати наступні види технологічного обладнання:

– відсадка – застосування відсаджувальних машин нового рівня з рухомим решетом для збагачення вугілля крупністю до 100 мм – типу ВХП-5х3-Р (ОМПР-5); підвищення виходу концентрату на 2%;

– флотація – застосування прямоточних флотаційних машин механічного типу МФУ з послідовним розташуванням камер, зокрема монокамерної флотомашини МФМ36 порівняно з аналогом МФУ6; очікуване збільшення виходу концентрату 1,2–2,0%;

– грохочення – застосування двоконусних гідрогрохотів типу ГНК для підготовки машинних класів мокрим способом на протипагу гідрогрохотам типів ГГН та ГНД; орієнтовний обсяг збільшення виходу концентрату – 1%;

– впровадження пневматичних флотаційних машин на протипагу машинам механічного типу;

– застосування нової схеми розділення в комбінованій установці мокрого грохочення УМГ2,5 на фабриках з переробки антрациту;

– сепарація на стадії флотації – застосування та адаптація збагачувальних апаратів з гвинтовою поверхнею типу СВ2-1000, гвинтових шлюзів ШВ2- 1000, очікуване підвищення виходу концентрату – 1–1,5%;

- застосування технологічних схем з використанням пневмовібраційного способу (з використанням сепараторів типу СП та СПП);
- застосування безфлотаційних схем обробки шламів класу 0–1 мм з використанням наявних гідроциклонів, центрифуг та вакуум-фільтрів.

В табл. 2 наведено варіанти комплектації технологічним обладнанням збагачувальних фабрик.

Таблиця 2

Варіанти ефективних технологій для збагачувальних фабрик України

| Варіант технології | Сепарація | Мокра класифікація і грохочення | Обезводнення попереднє | Відсадка | Флотація |
|--------------------|-----------|---------------------------------|------------------------|----------|----------|
| 1 | СКВ | ГВіМх | ЦоШнВ | ВБП | МФМ |
| 2 | СКВ | ГВіМх | ЦоШнВ | ВхП-Р | МФМ |
| 3 | СКВ | ГВіМх | ЦоШнВ | ВхП | МФМ |
| 4 | СКВ | ГВіМх | ЦоШнГ | ВБП | МФУ |
| 5 | СКВ | ГВіМх | ЦфШнГ | ВхП | МФУ |
| 6 | СКВ | ГІс-М | ЦоШнГ | ВБП | МФУ |
| 7 | СКВ | ГІс-М | ЦоШнГ | ВхП-Р | МФМ |
| 8 | СКВ | ГІс-М | ЦфШнГ | ВБП | МФМ |
| 9 | СКВ | КЦГдМП | ЦоШнВ | ВхП-Р | МФМ |
| 10 | СКВ | КЦГдМП | ЦоШнГ | ВхП-Р | МФУ |
| 11 | СКВ | КЦГдМП | ЦфШнГ | ВхП-Р | МФУ |
| 12 | | ГВіМх | ЦоШнВ | ВБП | МФУ |
| 13 | | ГВіМх | ЦоШнГ | ВБП | МФМ |
| 14 | | ГВіМх | ЦоШнГ | ВБП-Р | МФМ |
| 15 | | ГВіМх | ЦоШнГ | ВхП-Р | МФУ |
| 16 | | ГІс-М | ЦоШнВ | ВБП | МФУ |
| 17 | | ГІс-М | ЦоШнВ | ВхП-Р | МФМ |
| 18 | | КЦГдМП | ЦоШнВ | ВхП | МФМ |
| 19 | | КЦГдМП | ЦоШнВ | ВхП-Р | МФУ |
| 20 | | КЦГдМП | ЦоШнГ | ВБП | МФУ |
| 21 | | КЦГдМП | ЦоШнГ | ВхП | МФУ |
| 22 | СКВ | ГВіМх | ЦоШнВ | ВБП | |
| 23 | СКВ | ГВіМх | ЦоШнГ | ВхП-Р | |
| 24 | СКВ | ГІс-М | ЦоШнВ | ВБП | |
| 25 | СКВ | ГІс-М | ЦоШнГ | ВБП | |
| 26 | СКВ | ГІс-М | ЦоШнГ | ВхП-Р | |
| 27 | СКВ | КЦГдМП | ЦоШнВ | ВхП-Р | |
| 28 | СКВ | КЦГдМП | ЦоШнГ | ВБП | |
| 29 | | ГВіМх | ЦоШнВ | ВБП | МФМ |
| 30 | | ГВіМх | ЦоШнВ | ВхП-Р | |
| 31 | | ГВіМх | ЦоШнГ | ВБП | |
| 32 | | КЦГдМП | ЦоШнВ | ВхП-Р | |
| 33 | | КЦГдМП | ЦоШнГ | ВБП | |
| 34 | | КЦГдМП | ЦоШнГ | ВхП-Р | |

При розрахунках обсягів випуску концентрату і його зольності приймалися до уваги можливості зменшення зольності видобутого вугілля при модернізації шахтного фонду технікою нового технічного рівня [147], та дотримання балансу продуктів збагачення [148] за формулою:

$$100 \alpha = \gamma_k \beta_k + \gamma_p \beta_p ,$$

де α – зольність вугілля, що надходить на переробку, %;

γ_k та γ_p – виходи відповідно концентрату та породи, %;

β_k та β_p – зольності відповідно концентрату та породи, %.

Очікуване збільшення обсягів випуску концентрату з урахуванням модернізації фонду збагачувальних фабрик та доведення їх фактичної продуктивності до рівня встановлених показників представлено в табл. 3 і 4.

Таблиця 3

Очікувані обсяги виробництва вугільного концентрату для енергетики

| Підприємство | Варіант технології | Марка вугілля | Виробнича потужність, тис. т | До / після модернізації | | |
|---|--------------------|---------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | | | Вихід концентрату, % | Обсяг концентрату, тис. т | Зольність концентрату, % |
| <i>Важкі середовища - відсадка - флотація</i> | | | | | | |
| ГЗФ Мирноградська | 13 | Г | 4500 | 58,8 / 64,8 | 2646 / 2916 | 7,1 / 6,3 |
| <i>Відсадка</i> | | | | | | |
| ЗФ Піонер | 24 | ДГ | 770 | 61,9 / 65,9 | 477 / 507 | 15,4 / 11,9 |
| <i>Важкі середовища - відсадка</i> | | | | | | |
| ГЗФ Україна | 25 | Г, ДГ | 2250 | 35,0 / 41,0 | 787 / 922 | 10,0 / 8,5 |
| ЦЗФ Павлоградська | 32 | Г, ДГ | 5250 | 56,7 / 61,7 | 2977 / 3239 | 11,2 / 8,7 |
| <i>Важкі середовища</i> | | | | | | |
| ЦЗФ Курахівська | 33 | Д, ДГ | 2300 | 81,8 / 83,0 | 1881 / 1909 | 26,8 / 20,6 |
| ГЗФ Росія | 20 | Г, ДГ | 1800 | 68,6 / 72,3 | 1114 / 1301 | 20,5 / 17,3 |
| Всього | | | 16870 | 60,5 / 64,7 | 9882 / 10794 | 15,1 / 12,2 |

Таблиця 4

Очікувані обсяги виробництва вугільного концентрату для коксування

| Підприємство | Варіант технології | Марка вугілля | Виробнича потужність, тис. т | До / після модернізації | | |
|--|--------------------|---------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | | | Вихід концентрату, % | Обсяг концентрату, тис. т | Зольність концентрату, % |
| <i>Важкі середовища - відсадка - флотація</i> | | | | | | |
| ЦЗФ Червоноградська | 9 | Г | 9600 | 61,7 / 67,7 | 5923 / 6499 | 25,7 / 21,2 |
| ЦЗФ Краснолиманська | 8 | Г, Ж | 2900 | 52,0 / 58,0 | 1508 / 1682 | 11,7 / 10,2 |
| ЦЗФ Октябрська | 4 | Г, ДГ | 2400 | 55,6 / 61,6 | 1334 / 1478 | 16,1 / 13,5 |
| ГЗФ Селидівська | 2 | ДГ, Г, Ж | 2000 | 64,1 / 70,1 | 1282 / 1402 | 12,4 / 10,1 |
| <i>Відсадка некласифікованого вугілля – флотація – контрольна відсадка</i> | | | | | | |
| ЦЗФ Дзержинська | 24 | Ж, ПС, К | 2700 | 53,5 / 59,5 | 1445 / 1605 | 8,7 / 7,7 |
| <i>Відсадка – флотація – контрольна відсадка</i> | | | | | | |
| ЦЗФ Добропільська | 39 | Г, ДГ | 2550 | 53,3 / 59,3 | 1359 / 1512 | 7,7 / 6,3 |
| <i>Колонна флотація – гідроциклони [148]</i> | | | | | | |
| ЗФ Свято-Варваринська | 13 | К | 8500 | 50,0 / 53,0 | 4250 / 4376 | 11,0 / 8,0 |
| Всього | | | 30650 | 55,7 / 61,3 | 17101 / 18554 | 13,3 / 11,0 |

За визначеними оптимальними варіантами ефективних технологій переробки вугілля виконано аналіз показників технологічного рівня збагачувальних фабрик України (табл. 5).

Таблиця 5

Середні показники технологічного рівня збагачувальних фабрик України

| Показник | Вихід концентрату, % | | Зольність концентрату, % | |
|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| | до модернізації | після модернізації | до модернізації | після модернізації |
| Енергетичне вугілля | 60,5 | 64,7 | 15,1 | 12,2 |
| Коксівне вугілля | 55,7 | 61,3 | 13,3 | 11,0 |

Впровадження ефективних технологій у переробку енергетичного вугілля дозволяє підвищити вихід концентрату на 4,2%, при цьому зольність концентрату знижується на 2,9%. Вдосконалення технологій у переробці коксівного вугілля підвищує вихід концентрату на 5,6%, та знижує зольність на 2,3%.

4.5 Перспективи розвитку екологічних технологій в Україні

В Україні в даний момент нераціональна система природного користування, яка в свою чергу є наслідком накопичення структурних деформацій господарства. Переважно в наш час вживання енергетичних технологій, добування невідновлюваних природних ресурсів, орієнтації експорту на сировину та надмірної концентрації виробництв в східних регіонах держави.

Теперішня структура економіки до сьогодні залишається неефективною й екологічно небезпечною. Енергомісткість внутрішнього валового продукту є високою. Перебудова економіки відбувається здебільшого як нерегульований процес сталого розвитку. Визначення сталого розвитку суспільства, в якому задоволення потреб теперішніх поколінь не мусить ставити під загрозу можливість та потреби наступних поколінь, основною метою та завданням сталого розвитку є забезпечення високої якості життя нинішніх і наступних поколінь на основі збалансованого вирішення проблем соціально-економічного розвитку, збереження природного середовища, раціонального використання й відтворення природно-ресурсного потенціалу нашої країни. В останній час взаємодія енергетики і навколишнього середовища набула небезпечного характеру.

Науково-технічна революція дала змогу великих відкриттів у хімії, біології, фізиці та інших науках, значно збільшила можливості посиленого використання природних ресурсів. Як наслідок науковий прогрес обтяжив взаємодію людини з довкіллям, вносячи помітні так і негативні зміни в екологічні системи. Вчені з усього світу звертають увагу на проблему забруднення атмосфери та середовища нашої планети. Одне з найважливіших це є зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері, наслідком чого є підвищення температури повітря. Паливні та теплоенергетичні установки здійснюють теплове забруднення навколишнього середовища, викиди хімічних речовин, викиди золи і сажі, які через збільшення різного виробництва також створюють значні проблеми.

Кількість споживання нафтопродуктів набуває з бігом часу глобальнішого й посиленого характеру, особливо враховуючи політичну нестабільність у всьому світі. Як наслідок збільшується потреба не лише в раціональному використанні нафтопродуктів, а й у пошуку нових методів заощадження економії коштів на купівлю та використання енергоресурсів. Слід відзначити, що теперішні методи економії енергії є досить різноманітними, проте, на жаль, їх застосування не приводить до передбачуваних результатів та неспроможне значно скоротити залежність країн від імпорту нафтопродуктів.

В країнах ЄС частка твердого палива у енергетичному балансі первинних джерел енергії в перспективі до 2030 року знизиться до 16,7%. Також зменшиться й споживання нафти до 35 %. А споживання газу серед країн Європейського Союзу збільшиться до 25%. Що стосується відновлюваних джерел енергії, частка в енергобалансі повинна зрости до 12%. Отже, традиційні джерела енергії з роками будуть вичерпуватися, це призведе до зростання їх вартості, а відновлювальні джерела енергії (вітроенергетика, сонячна енергетика, малі ГЕС, вироблення біопалива з органічної сировини власного виробництва тощо) навпаки збільшують свою питому вагу в енергобалансі країн ЄС в перспективі до 2030 року.

Головними напрямками впливу на довкілля залишаються:

- використання води а також водоспоживання зумовлює зміни, негативно діє на природний дизбаланс водного середовища;
- скидання на водне середовище й сушу рідкого й твердого палива під час його транспортування, переробки та перевантаження;
- продукти згорання органічного палива спричиняють осідання на поверхню води твердих викидів з атмосфери, як наслідок змінюються властивості води, змінюється колір тощо;
- випадання на поверхню продуктів викидів кислот і кислотних залишків, металів, канцерогенних речовин як у твердому вигляді так і рідких розчинів в атмосферу;
- викидання радіоактивних відходів в рідкому або твердому вигляді, що

характеризуються умовами їхнього поширення в землі та воді;

- викидання теплоти є наслідком постійного локального підвищення температури у водоймищах, тимчасового підвищення температури на місцевості, змінення умов льодоставу, нестабільного зимового гідрологічного режиму, зміни в розподілах опадів, нерівномірного випаровування, великих паводків;

- створення водосховищ на великих річках або з використанням природного рельєфу місцевої поверхні, штучних ставків, які погано впливають на якісний й кількісний склад річкових стоків, зменшення водного басейну, та інших чинників водного середовища;

- зміна ландшафту при активному спорудженні різних енергетичних об'єктів, споживання таких ресурсів як лісів, вилучення із обороту сільськогосподарського земель, негативна взаємодія берегів з водосховищами. На долю традиційної енергетики на сьогодні припадає не менш ніж 30 % усіх викидів в атмосферу. З загальної кількості усіх викидів це близько 30 % твердих речовин, більш ніж 60 % сірчистого ангідриду та близько 55 % оксидів азоту.

В даних умовах в край важливою є інтеграція енергетики й екології, тісний взаємозв'язок екологічних аспектів енергетики з енергетичними аспектами екології. Можна сказати, що зростаюче техногенне навантаження на навколишнє природне середовище й загострення у зв'язку з вище сказаними проблеми екологічної безпеки потребує негайної зміни екологічної політиці та забезпечення сталого розвитку екології в майбутньому, енергетики й економіки.

Розв'язання даної проблеми стає можливим за рахунок чіткої оптимізації структури енергетичного балансу країни та її окремих регіонів, в яких найбільшу частку мають становити екологічно безпечні енергоносії з відновлюваних джерел енергії

Одним з основних напрямків науково-технічного прогресу є використання альтернативних джерел енергії.

Відновлювані джерела енергії можуть бути поділені на дві групи. До першої

групи входять такі джерела енергії, що пов'язані гідрологічним походженням (геотермальна енергія, гідроенергія, енергія морських хвиль і припливів а також інші види гідроресурсних джерел), а до другої групи – джерела енергії, основою якої є сонце, (сонячна та вітрова енергія, енергія біомаси та інші). Відновлювані або невичерпні енергоресурси – енергетичні потоки, що постійно або частково діють у навколишньому середовищі. Як правило вище згадані усі енергопотоки відновлюваних джерел енергії поділяють на дві групи:

- енергія прямого сонячного випромінювання;

- вторинна енергія сонячного випромінювання, до якої входить енергія вітру, тепла енергія, гідроенергія, та інші види енергії.

Основною перевагою використання відновлюваних енергетичних ресурсів в першу чергу є невичерпність та безпечність, що сприяє покращенню екологічного стану в цілому і не призводить до зміни дисбалансу в енергетиці на Землі. Використанням відновлюваних джерел енергії дає змогу уникати потреб у видобуванні, збагаченні, переробці та транспортуванні палива, утилізації та при захороненні шкідливих відходів від традиційних видів енергії. Саме до цих потоків енергії пристосовані фізичні та біологічні процеси на Землі. Часткове використання цих потоків енергії не призводить до енергетичного дисбалансу, а при спалюванні навіть невеликої кількості традиційного палива прибавляє до енергетичного балансу зайву теплову енергію разом із іншими забрудненнями.

Прийнята в березні 2006 році «Енергетична стратегія України на період до 2030 року» оцінює річний технічний потенціал альтернативних джерел, відходів та нетрадиційних джерел енергії приблизно у 80 млн т у.п.. При цьому споживання ВДЕ прогнозують у 18 млн т у.п. у 2030 році, що приблизно дорівнює близько 6% від загального споживання енергії. Аналіз сучасних технологій і технічних засобів для отримання екологічно чистої енергії в умовах України доводить, що серед пріоритетних видів ВДЕ, які вже в дійсний час можуть успішно розвиватися, можна назвати біоенергетику, вітрову, малу гідроенергетику, сонячну й геотермальну енергетику.

Їхні переваги у порівнянні з традиційними:

-вони практично невичерпні, тому що вони весь час поновлюються від своїх первинних джерел;

-вони не забруднюють навколишнє середовище відповідно тепловими й хімічними викидами; -

-при їх використанні зникає потреба у видобуванні, переробці й транспортуванні первинних енергоресурсів; -

-зникає потреба в використанні у великих обсягах води для охолодження теплових установок;

- вони максимально наближені до місць їх енергоспоживання, тому зникає потреба у транспортуванні цієї енергії.

Незважаючи на велику кількість переваг альтернативної енергетики, не слід забувати про наявність недоліків. Недоліком малої гідроенергетики є затоплення територій, висихання малих річок, а у разі неправильного вибору місця для встановлення дамби або греблі можлива зміна екосистем і втрата біорізноманіття.

Використання сонячної енергії потребує великих площ землі під будівництво сонячних електростанцій. Фотоелементи, які використовують для виготовлення сонячних батарей, містять отруйні речовини: свинець, кадмій, галій, арсен та інші, однак це не стосується сонячних колекторів для нагріву води. Водночас сонячна енергетика має переваги порівняно з іншими видами відновлюваних джерел енергії, а саме:

-не потребує енергоресурсів;

- не забруднює довкілля;

- забезпечує автономність постачання енергії (дуже зручно для індивідуального споживача);

-більшість сонячних енергоустановок потребує мінімальних експлуатаційних витрат.

Перспективу використання також має низькопотенційної енергії довкілля, яка перетворюється на високопотенційну за допомогою так званих теплових насосів. Тепловий насос має здатність брати енергію з довкілля вигідно,

вирізняючи його серед інших теплових генераторів енергії, які всі свої теплові втрати разом з продуктами згорання скидають в атмосферу. Застосування відновлюваної енергії потребує нових технологій щодо їх ефективнішого використання. Для цього в нашій країні необхідно проводити наукові дослідження та розробляти нові сучасні технології. Як відомо, Україна відноситься до країн, тільки частково забезпечених власними енергоресурсами. Внаслідок надмірної енергоємності основних галузей промисловості, орієнтованих в основному на експорт (перш за все таких, як металургія, хімічне виробництво та ін.) значна частина валютних надходжень йде на оплату імпортованих енергоресурсів. Такий показник енергоємності об'єктивно знижує конкурентоспроможність вітчизняного виробництва і негативно впливає на національну економіку за умов її зовнішньої енергетичної залежності. Тому ефективність енергоспоживання для України повинна розглядатись як найважливіший додатковий енергоресурс, не менш вагомий, ніж нафта і газ. Розвинені країни уже давно визнали енергоефективність глобальним енергоресурсом. Світовий досвід показує, що витрати коштів на енергозберігаючі заходи в 2,5 – 3 рази ефективніші, ніж вкладання їх у будівництво нових енергогенеруючих потужностей. Тому в умовах інвестиційних обмежень енергозберігаючий шлях розвитку національної економіки для України є найбільш раціональним. Успішна реалізація політики енергозбереження – це питання розвитку економіки, енергетичної безпеки, створення конкурентоспроможної, енергоефективної економіки.

В енергетичній політиці повинні враховуватись, як мінімум, 4 основних принципи:

- 1) в першу чергу повинен використовуватися пріоритетний потенціальний екологічно ощадний енергоресурс – економія енергії (енергоефективність);
- 2) для енергопостачання повинні залучатися технології, які оптимально використовують теплоту спалювання палива і теплоту енергоносіїв;
- 3) слід в декілька разів збільшувати темпи використання нетрадиційних відновлюваних енергоресурсів;

4) енергогенеруючі установки повинні оснащуватися економічно прийнятними на сучасному технологічному рівні пристроями для уловлювання та нейтралізації шкідливих викидів.

Потреба нашої країни в енергоносіях для теплопостачання її житловокомунального господарства за рік становить близько 70-75 млн. тонн умовного палива. Тому використання для цієї мети поновлюваних джерел енергії є особливо актуальним. Утилізація енергії сонячного випромінювання є дуже перспективним напрямком заощадження енергетичних ресурсів у зв'язку з виснаженням основних світових запасів нафти та газу, а також проблемою

забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння твердих палив. Технологією утилізації енергії сонячного випромінювання, найбільш підготовленої для реалізації забезпечення комунально-побутових потреб населення, є нагрівання води енергією сонця. Національна енергетична стратегія України на період до 2030 року передбачає поступове збільшення випуску в нашій країні обладнання для систем сонячного гарячого водопостачання та опалення, також передбачається випустити та потім встановити близько 2 млн. м² сонячних колекторів, що в свою чергу дасть можливість отримати відчутну економію, оскільки нинішній досвід експлуатації цих систем сонячного гарячого водопостачання в країні показав, що 1 м² сонячний колектор при оптимальних умовах дає економію від 0,1 до 0,15 тон палива за літній сезон, але це залежить від їхньої ефективності й особливостей клімату областей.

Можна сказати, що великомасштабне використання сонячних систем сонячного гарячого водопостачання в Україні до 2030 року дозволить заощадити в рамках прийнятої стратегії до 200 тис. тон. Перспективним у даний час є широке впровадження сезонних систем сонячного гарячого водопостачання із природньою циркуляцією води у системах різного масштабу: з ємністю бака акумулятора від 100 до 1000 л для гарячого водопостачання невеликих об'єктів відпочинку (баз відпочинку, турбаз, літніх таборів і ін.). Вони часто відключаються від електромережі, як об'єкти невиробничої сфери й тому такі систем сонячного гарячого водопостачання розраховані на безнасосну

циркуляцію.

Темпи впровадження систем сонячного гарячого водопостачання на таких об'єктах для створення цивілізованих умов відпочинку будуть значно збільшені у випадку, якщо в Україні буде налагоджений випуск ряду типових геліоустановок повної заводської готовності й комплектно-блокового постачання. Найбільш перспективним сьогодні найближчому майбутньому представляється масове впровадження великих масштабів систем сонячного гарячого водопостачання сезонної дії (період дії яких – тепла половина року) з великою ємністю бака-акумулятора для гарячого водопостачання об'єктів

відпочинку й оздоровлення (різних будинків відпочинку, санаторіїв пансіонатів), розташованих на узбережжі Чорного й Азовського морів. Значну економію паливно-енергетичних ресурсів, особливо у південних областях України, може забезпечити перехід існуючих твердопаливних котелень у режим сонячно-паливних котелень. В даному випадку мається на увазі сонячну приставку до котельні, забезпечуючи попередній підігрів сонячним випромінюванням води. У південній рекреаційній зоні України для гарячого водопостачання й опалення об'єктів є перспективним використання теплонасосних систем теплопостачання, із сонячними ставками. Останні можуть акумулювати в більших масштабах сонячне тепло, особливо в теплий період року, причому з мінімальними тепловтратами в навколишнє середовище. Двоконтурні системи сонячного гарячого водопостачання включають колекторне поле, що складається із сонячних колекторів, блоку проміжних теплообмінників та акумулюючого бака-накопичувача. Головним елементом систем сонячного гарячого водопостачання є сонячний колектор, який в основному визначає ціну геліосистеми, термін її експлуатації, ефективність перетворення сонячного випромінювання в теплоту й рівень тепловтрат від абсорбера сонячного колектора у навколишнє середовище, тобто її теплову продуктивність, формуючи в такий спосіб собівартість одержуваної теплої води. Незважаючи на те, що сонячні колектори мають не дуже складну конструкцію, створення високоефективної конструкції сонячного колектора - це досить

складна задача, оскільки аналіз перетворення сонячного випромінювання в теплоту і розрахунки тепловтрат від абсорбера сонячного колектора у навколишнє середовище пов'язані з розв'язком нелінійних завдань складного теплообміну, що включає радіаційну, конвективну або кондуктивну складові. В середньому річний потенціал сонячної енергії в Україні приблизно 1235 кВт год/м, що є достатньо високим і набагато вищим, ніж, наприклад, в Німеччині чи навіть Польщі, де вони активно використовуються. Для

порівняння середньорічний потенціал сонячної енергії Сумської області буде вищим ніж на більшій частині Європи. В Україні є хороші можливості для ефективного використання теплоенергетичного обладнання на території України. В умовах нашого клімату сонячні енергетичні системи працюють цілий рік, правда тільки з перемінною ефективністю, максимально на півдні, мінімально на заході

Технічний потенціал сонячної енергії з дахів всього житлового фонду України сьогодні становить приблизно 25–35 ТВт·год/рік, що у грошовому еквіваленті становить (при сучасній вартості 1 кВт·год=1,68 грн): 1,2 – 1,7 млрд. євро на рік.

Одним із елементів сонячної системи є сонячні колектори, які перетворюють енергію сонячного проміння в теплову. Потужність сонячних колекторів становить 70–100 Вт для 1м² поверхні. Електроенергія, отримана в такий спосіб, поки що є досить дорогою, але використання фотоелектричних колекторів дає змогу автономізувати енергозабезпечення будівлі. Якщо врахувати, що ціна сонячного колектора 10 000 – 15 000 грн, вартість геліосистеми (в умовах території України) становить від 12 до 20 грн. за один розігрітий літр води в день, то, якщо отримувати 100 літрів гарячої води на день, сонячна система обходиться в 1200 – 2000 грн. Для забезпечення гарячою водою сім'ї із п'яти осіб достатньо буде встановити два-три сонячні колектори. Термін окупності установки становить приблизно 7 - 8 років.

SECTION 5. FORESTRY

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.5.1

5.1 Послідовність виникнення осередків шкідників на залісненій території Херсонської області

Ліси вважаються найбільш поширеними та цінними серед різних видів рослинності. Це біологічна система, де головним елементом є деревні рослини. Ліс має визначне значення для біосфери, виконуючи різноманітні життєво важливі функції і слугуючи незамінним житловим середовищем для великої кількості живих організмів. Лісові екосистеми зберігають річки, захищають джерела від забруднення та висихання, утримують атмосферу вологою і постачають її значною кількістю кисню. Вони також виступають як фільтри атмосфери, поглиблюючи вуглекислий газ та пом'якшуючи клімат [149, 150].

Порушення екологічної стійкості лісової екосистеми може виникати через різноманітні природні чинники, їх вплив може виявлятися різною тривалістю, характером та ступенем і супроводжуватися оборотними або необоротними змінами у стані лісових насаджень. Ті самі фактори можуть бути прийнятними для одних лісових біоценозів, але виявлятися критичними для інших, залежно від їхньої природної стійкості, яка в значній мірі визначається умовами зростання. Розуміння природних механізмів реакції лісових екосистем на ці фактори є ключовим для розробки ефективних стратегій управління лісами та їхнього відновлення після подій, які можуть впливати на їхню стійкість [150].

Значної шкоди лісам завдають шкідники: хвоє-, листогризучі стовбурові та хвороби. Виникнення осередків шкідників і хвороб відбувається на фоні зниження стійкості насадження під впливом окремих факторів зовнішнього середовища. У насадженнях з обмеженою стійкістю створюються сприятливі умови для розвитку стовбурових шкідників, які, в свою чергу, стають додатковими факторами негативного впливу і часто причиною повного або часткового порушення і загибелі деревостану.

Ефективне лісове управління має включати стратегії контролю за шкідниками та заходи з попередження поширення хворіб.

Загальна увага до сталого використання та охорони лісів важлива для забезпечення екологічної стійкості та продовження їхньої ролі у підтримці життєво важливих функцій нашої планети.

Велика кількість заражень деревостанів є через розповсюдження більшості хвороб та шкідників. Воно має досить швидкий темп, через певні аспекти так як міграція шкідників та хвороб через своїх носіїв або самостійно, втручання людини в екосистему лісів, зміни в кліматі, які можуть створювати сприятливі умови для життя шкідників та патогенів [150, 153].

Мета даного дослідження полягає в аналізі впливу різноманітних шкідників на структуру лісових деревостанів, зокрема на формування раннього, пізнього та річного шарів деревини в Херсонській області, з урахуванням місцевих кліматичних умов

Проведення такого аналізу дозволить краще зрозуміти взаємозв'язок між біотичними та абіотичними чинниками та їхнім впливом на структуру та здоров'я лісів в даному регіоні.

Для проведення нашого дослідження ми використовували: матеріали лісовпорядкування Цюрупинського, Раденського, Пролетарського, Дніпровського та Костогризівського лісництва ДП «Олешківське ЛМГ», а також відомча документація: книга лісових культур, книга рубок догляду, книга обліку шкідників і хвороб лісу Це дослідження було зосереджено на вивчення та аналізу вплив різних факторів, таких як шкідники та специфіка клімату на формування лісових екосистем.

За допомогою рекогносцирувального обстеження було виявлено масові поширення шкідливих гризунів та комах в насадженнях. Це включило в себе детальний огляд хвойних та листяних рослин для визначення присутності і чисельності шкідників. Крім того, було проведено аналіз даних про кількість та коливання чисельності шкідників протягом років, спостереження за фазами спалаху та визначення перспектив подальшого розвитку цього явища [152, 153].

Організація рекогносцирувального обстеження включила в себе систематичний огляд об'єктів, використавши різноманітні методи, такі як візуальний огляд через візири, просіки, лісові дороги та стежки. Здійснення цього огляду по ходовим лініям дозволило ефективно охоплювати територію та виявити потенційні джерела поширення шкідників.

Важливим етапом рекогносцирування стало збір та аналіз інформації щодо фаз спалаху шкідників, а також оцінка впливу цих факторів на здоров'я насаджень. Збирання точних даних про характеристики спалаху дозволило вчасно вжити заходів для контролю та запобігання подальшому поширенню шкідливих організмів.

Детальні огляди включають завдання, подібні до рекогносцирувального обстеження але виконуються експертами на постійній пробній ділянці. Для цього необхідний детальний моніторинг рівня зараженості шкідниками та поширення хвороб у насадженнях. Щоб отримати точні дані, потрібно відібрати модельне дерево. Основною метою детального обстеження було виявлення потенційних загроз росту та подальшому розмноженню шкідників і хвороб та збір матеріалу для розробки лісозахисних заходів [152, 153].

Контрольні обстеження проводяться для уточнення достовірної інформації про наявність шкідників конкретного насадження. Це й визначення видового складу шкідників, популяцій та виявлення загрози пошкодження насаджень. Однією з головних цілей контрольних обстежень є отримання достовірної інформації для прийняття конкретних заходів щодо стратегії збереження лісів [153].

За результатами проведених досліджень нами було проаналізовано ґрунтово-кліматичні умови.

Клімат Олешківського району м'яко-континентальний з м'якою малосніжною зимою, жарким і сухим літом. У січні температура на півночі -5°C , на півдні -3°C , у липні відповідно від $+21,5^{\circ}\text{C}$ до $+25,5^{\circ}\text{C}$. Період температури вище $+10^{\circ}\text{C}$ становить 215-230 днів. Загальна річна активна температура $3200-3400^{\circ}\text{C}$. Річна кількість опадів дуже мала, всього 300-410 мм, переважно влітку.

Сніговий покрив нестійкий. До несприятливих кліматичних явищ, що завдають шкоди сільському господарству, відносяться посуха (25-30 днів на рік, в окремі роки 50-60 днів), піщано-пилові бурі (3-8 днів, у Херсонській області до 9-12 днів). Основної шкоди завдає весняна та осіння посуха, яка зазвичай повторюється через два-три роки, найчастіше на півдні. Область розташована у двох агрокліматичних зонах: посушливій, дуже теплій (північній) і дуже посушливій, помірно жаркій з м'якою зимою (південній) [154].

Територія розташована в найбільшій зоні піщаної ари в Європі. Тут розташована Олешківська пустеля, друга за величиною пустеля Європи. Після кількох поколінь трансформаційної роботи тут були створені мальовничі ліси, які докорінно покращили природне середовище Дніпра. Вчені Нижньодніпропровської науково-дослідної станції ведуть тут важливу роботу з лісовідновлення пісків і виноградарства [154].

Таким чином було встановлено, що сучасні кліматичні зміни призводять до погіршення умов росту, зниження біологічної стійкості, ослаблення дерев і, як наслідок, до активізації шкідливості комах. Тому проведення заходів боротьби зі шкідниками та хворобами у вигляді хімічних, біологічних та механічних методів є обов'язковими [155].

З початком заліснення територій Олешківського району разом з позитивним результатом з'явилися прояви негативних факторів. Під час досліджень було виявлено, що всі насадження мають видимі ознаки пошкоджень від шкідників. Через широко поширену лісоутворюючою породою – *Pinus sylvestris* L. ця територія має наступний видовий склад основний хвое-листогризучих та стовбурових шкідників:

Пагоновьюн смоляний ПВС відноситься до родини листовійок. На півдні України ПВС має однорічну генерацію. В соснових насадженнях на нижньодніпровських пісках і на пісках вздовж річок Буга та Інгульця зустрічається повсюди. Його гусениці найбільш пошкоджують сосну звичайну і дуже рідко сосну кримську (мал. 1) [156].



Малюнок 1 - Личинка та пошкодження *Evetria resinella*

Молоді культури сосни шкідник заселяє з дворічного віку. Пошкоджуючи пагони та бруньки які в подальшому всихають та легко відділяються від гілок.

Рудий сосновий пильщик РСП відноситься до тепло- та світлолюбних видів. Він володіє високою екологічною пластичністю, в силу якої первинні осередки його спалахів виникають в різноманітних умовах (мал.2) [156].



Малюнок 2 – Личинка *Neodiprion sertifer* Geoffr.

РСП здатний розвиватися на деревах та в насадженнях різного віку, складу та повноти. Масові розмноження цього шкідника найчастіше спостерігають в лісових культурах, полезахисних полосах та в природніх молодняках.

Звичайний сосновий пильщик ЗСП небезпечний шкідник сосни звичайної, але також пошкоджує сосну Банкса та сосну кримську. Найбільша шкідливість проявляється в соснових насадженнях Полісся, на Нижньодніпровських пісках, в степових борах України. Віддає перевагу чистим сосновим насадженням з повнотою 0,5 – 0,6. Особливу шкідливість має в культурах 8 – 15 років. В умовах півдня України віддає перевагу середньовіковим насадженням [156].

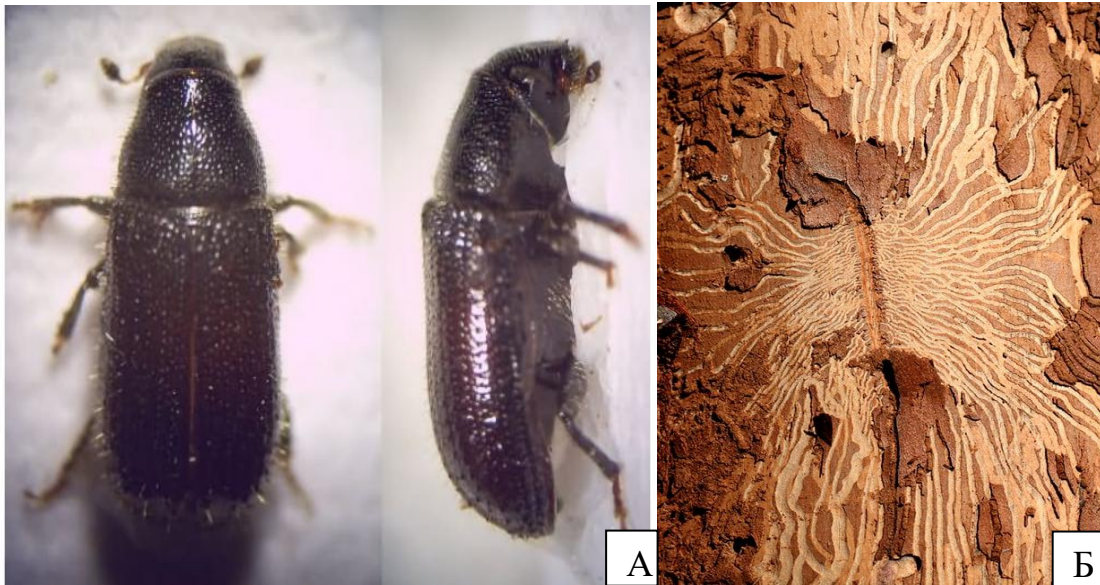
Шкідлива діяльність ЗСП починається з моменту яйцекладки, коли самка яйцекладом прорізає хвоїнку для відкладу туди яєць. Частина пошкоджених таким чином хвоїнок в подальшому всихають та опадають. Дерева, пошкоджені ЗСП, в подальшому піддаються до нападу вторинних, або стовбурових шкідників (мал.3).



Малюнок 3 – Яйцекладка та імаго (самка) *Diprion pini* L.

Великий сосновий лубоїд ВСЛ (рис. 8) один з найбільш небезпечних шкідників сосни звичайної. Пластичний вид, що зустрічається у лісах різного типу, особливо в осередках кореневої губки, на краях боліт, у розладнаних рубками деревостанах. Заселяє низ стовбурів в районі товстої кори зростаючих

дерев, зрубані дерева, лісоматеріали та пеньки. Молоді жуки додатково живляться в кронах здорових дерев, виїдаючи серцевину молодих пагонів, викликаючи цим їх обламування («стрижка крони») [156].



Малюнок 4 – *Blastophagus piniperda*

Примітки: А – Імаго; Б – Маточний та личинкові ходи

У результаті масштабних робіт зі заліснення Нижньодніпровських пісків було створено 90 тисяч гектарів лісових насаджень, переважно соснових, які успішно виконують ґрунтозахисні та клімато-регулюючі функції.

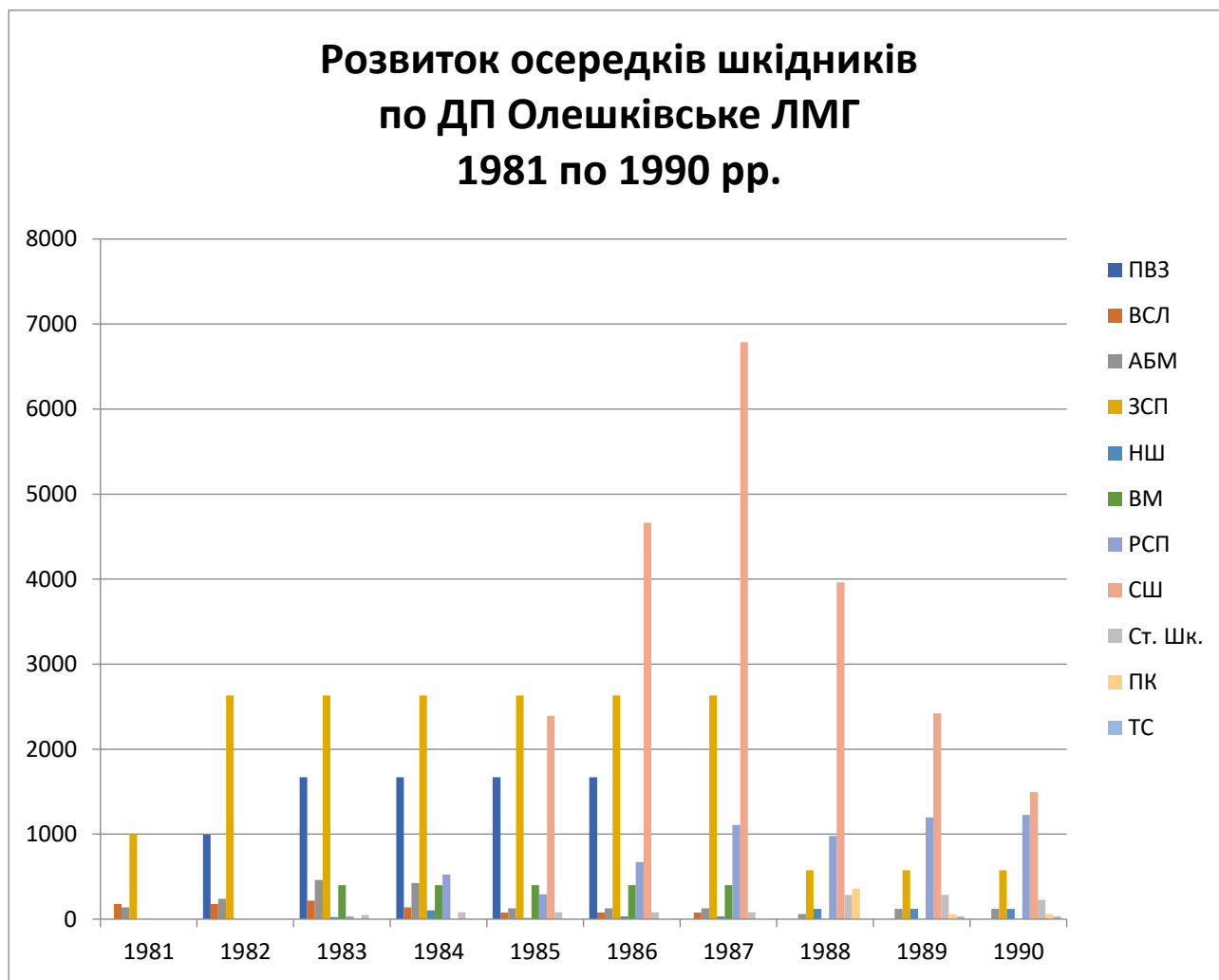
Проте жорсткі кліматичні умови, часті посухи, різкі коливання рівня ґрунтових вод, а також відсутність попереднього досвіду у вирощуванні, охороні та захисті лісу в цих умовах призвели до значного зниження біологічної стійкості лісів та різкого погіршення їхнього санітарного стану. Нами було досліджено розвиток осередків шкідників по ДП Олешківське ЛМГ з 1981 по 2020 роки [157].

В 1980 році рахувалися осередки ВСЛ в насадженнях Костогрівівського на площі 150 га, Пролетарського на площі 50 га та Дніпровського на площі 50 га. Осередки АБМ в насадженнях Дніпровського, Пролетарського та Раденського лісництва на площі 150 га.

При проведенні нагляду за станом лісових насаджень було виявлено осередки ПВЗ в насадженнях Цюрупинського лісництва в кварталах: 12, 38 на

площі 100 га, та ВСЛ на площі 54 га й запроєктовано заходи на наступний 1981 рік 1% розчином хлорофоса. В насадженнях Раденського лісництва при проведенні рекогносцирувального нагляду в кварталах: 1 – 32 було замічено пошкодження ПВЗ на площі 1750 га й розроблено заходи по стриманню розвитку шкідника на 1981 рік 1% розчином хлорофоса, ефективність яких склала 92%.

Діаграма 1



Постійні спалахи розвитку основних хвоє-гризучі шкідників у соснових насадженнях починаючи з 1981 року.

В 1981 році рахувалися осередки ВСЛ на площі 178 га в насадженнях Дніпровського лісництва в кварталі 18 на площі 25 га де була проведена НЗХ по стриманню розвитку шкідника 0,3% розчином хлорофоса, Костогризівського лісництва на площі 53 га та Пролетарського в кварталах: 20, 21 на площі 100 га.

При проведенні рекогносцирувальних обстежень осередки АБМ рахувалися на площі 139 га в насадженнях Цюрупинського лісництва в кварталі 56 на площі 30 га, Пролетарського лісництва в кварталі 40 на площі 15 га та Раденського в кварталі 98 на площі 94 га.

Спостерігалось пошкодження ПВЗ від 8 – 15% пошкодження пагонів дерев в насадженнях Цюрупинського лісництва в кварталах: 12 – 49 на площі 995 га, який затух під впливом природніх факторів [153, 154, 156, 157].

Було виявлено осередки ЗСП в насадженнях Цюрупинського лісництва на площі 100 га, та Пролетарського на площі 900 га в кварталах: 3, 4, 8-10, 17, 19, 25-27, про що були зроблені записи в книгу осередків хвороб та шкідників лісу, площа осередку на кінець року склала 1000 га [153, 154, 156, 157].

В 1983 при проведенні рекогносцирувальних обстежень рахувалися осередки ВСЛ в насадженнях Цюрупинського лісництва в кварталі 66 на площі 44 га, Дніпровського лісництва в кварталах: 3, 19, 24, 25 на площі 70 га, Костогризівського лісництва в кварталах: 55, 49 на площі 48 га та Раденського лісництва в кварталах: 99, 108 на площі 56 га де були проведені НЗХ 8% розчином хлорофоса оприскувачем ОВТ – 1 з нормами витрат 200 л/га та біологічним інсектицидом дендробацилін з нормами 2,5 кг/га на площі осередку 218 га.

Діаграма 2



Сучасні кліматичні зміни призводять до погіршення умов росту, зниження біологічної стійкості, ослаблення дерев і, як наслідок, до активізації шкідливості комах [158].

Діаграма 3



На основі досліджених даних можна зробити висновок, що з початком заліснення територій Олешківського району поряд із позитивними результатами проявилися і негативні чинники. В ході досліджень було виявлено, що всі насадження мають видимі ознаки пошкоджень та хвороб. Крім того, було зафіксовано наявність шкідників, таких як пагоновьюн зимуючий, пагоновьюн смоляний, рудий сосновий пильщик, звичайний сосновий пильщик, непарний шовкопряд, великий та малий сосновий лубоїд, сосновий підкоровий клоп та інші. Розмноження і розвиток шкідників тісно пов'язані з абіотичними факторами, особливо з температурним режимом.

Клімат Олешківського району є помірно-континентальним з м'якою, малосніжною зимою та жарким, посушливим літом. Січніві температури коливаються від -5°C на півночі до -3°C на півдні, а липневі температури - від $+21,5^{\circ}\text{C}$ до $+25,5^{\circ}\text{C}$. Період з температурами понад $+10^{\circ}\text{C}$ триває 215-230 днів, що створює сприятливі умови для розвитку різноманітних шкідників і хвороб. Протягом останніх років у Нижньодніпровських лісах виникли численні осередки всихання насаджень, збільшилася поширеність лісових шкідників, підвищилася пожежна небезпека, а загальний стан лісових насаджень погіршився. Це пов'язано зі зміною екологічних умов регіону, зокрема, зі зміною режиму підґрунтових вод.

Сучасні кліматичні зміни призводять до погіршення умов росту дерев, зниження їх біологічної стійкості та ослаблення і, як наслідок, до активізації поширення комах та збільшення осередків розмноження. Таким чином, проведення заходів боротьби зі шкідниками та хворобами за допомогою хімічних, біологічних та механічних методів є необхідним. Це включає застосування інсектицидів, використання природних ворогів шкідників та механічне видалення заражених дерев. Крім того, важливо здійснювати постійний моніторинг стану лісів, вдосконалювати методи захисту та адаптуватися до змін кліматичних умов для збереження здоров'я лісових екосистем.

SECTION 6. INFORMATICS AND CYBERNETICS

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.6.1

6.1 Development of modern cryptographic information protection methods and techniques

The problem of information security in computer networks is relevant today. As practice shows, the larger and larger the network and the more valuable information is entrusted to the computers connected to it, the more people are willing to disrupt its normal functioning for the sake of material gain, simply out of ignorance or out of curiosity. These attacks know no national borders.

In the Internet - the largest computer network in the world, however, like any other, there is a constant virtual war, during which the organization of system administrators opposes the ingenuity of computer hackers, with the aim of ensuring information security. Cryptographic protection methods are based on the possibility of carrying out a certain information transformation operation, which can be performed by one (or more) IS user who has some secret part of additional information.

In classical cryptography, only one unit of confidential and necessarily secret information is used - a key, the knowledge of which allows the sender to encrypt the information, and the recipient to decrypt it. This encryption/decryption operation is most likely impossible without knowledge of the secret key [159].

In public-key cryptography, there are two keys, at least one of which cannot be deduced from the other. One key is used by the sender to encrypt information, the preservation of which must be ensured. The other is a receiver for processing the received information. There are applications in which one key must be non-secret and the other secret.

The main advantage of cryptographic methods of information protection is their provision of guaranteed stability of protection, which can be calculated and expressed in numerical form (the average number of operations or the amount of time required to open encrypted information or calculate keys).

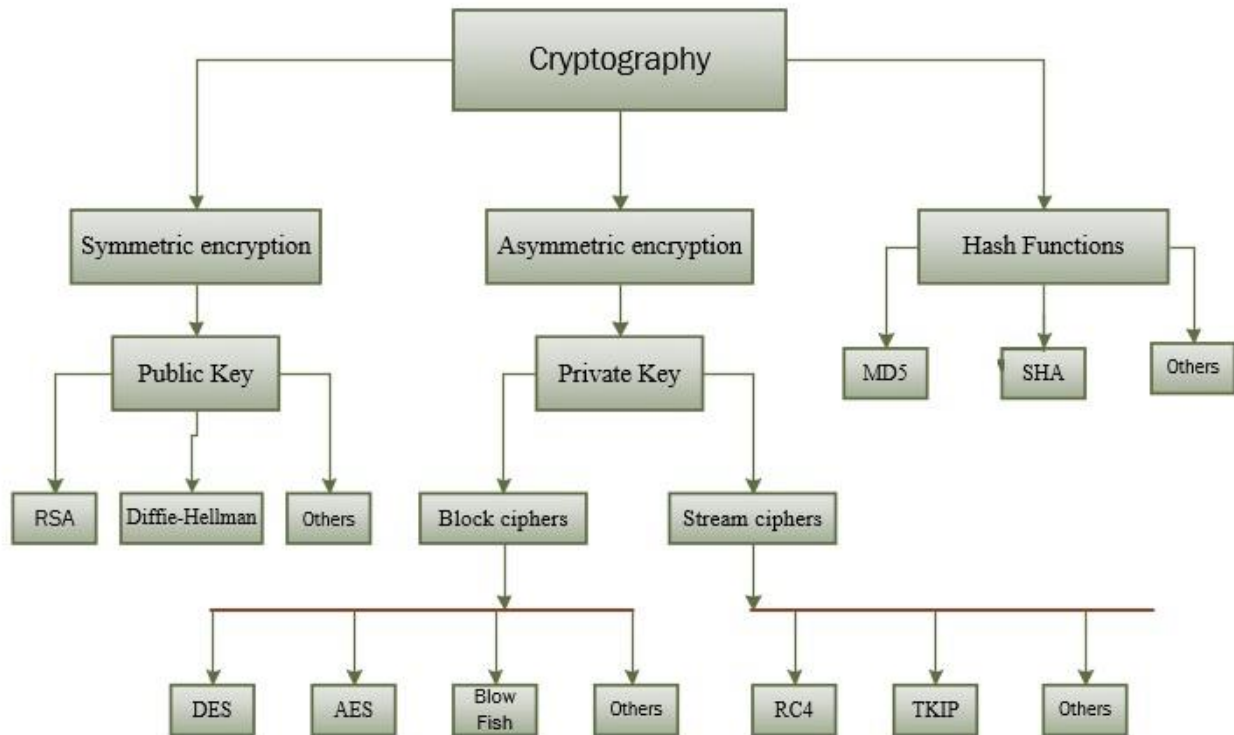
Encryption tools can be implemented both hardware and purely software. In any case, they must be certified, i.e. must meet certain requirements (standards). Otherwise, they cannot guarantee users the necessary encryption strength.

The use of several encryption algorithms of the same type for different purposes in the protection system is irrational. The best option is to create a system in which the means of crypto-protection are system-wide, act as an extension of the functions of the operating system and include certified encryption algorithms of all types (block and stream, with private and public keys).

Transparent encryption of all information on disks, which is widely recommended alongside developer protections, is justified only when the computer is used by only one user and the disk volumes are small. But in practice, even personal computers are used by groups of few users. And not only because there are not enough PCs for everyone, but also due to the specifics of the work of protected systems. Thus, the automated workplaces of control system operators are used by two to four operators who work ridiculously, and they cannot be considered as one due to the requirement of division of responsibility. That in an obvious situation it comes either to abandon the separation or to close the correspondence and allow the use of the cipher key by several operators, or to create closed separate disks for any of them and to close that very exchange of information, to store and transmit part of the information in the open, it is clear that in essence equilibrium rejection of the concept of transparent encryption of all information on disks [160].

Additionally, transparent disk encryption requires significant system overhead (time and performance). And not only directly in the process of reading and writing data. The fact is that reliable cryptographic closure of information presupposes a periodic change of encryption keys, and this leads to the need to re-encrypt all information on the disk using a new key (it is necessary to decrypt all information using the old one and encrypt it with using a new key). This requires considerable time. In addition, when working on a system with encrypted disks, delays occur not only when accessing data, but also when launching programs, which significantly slows down the computer. Therefore, cryptographic protection should be used limitedly, protecting

only that information that really needs to be protected from unauthorized access (Pic. 1).



Picture 1 – Types of Cryptography

Cryptology is divided into two parts: cryptography (encryption) and cryptanalysis. A cryptographer tries to find methods to ensure the secrecy or authenticity (authenticity) of messages. A cryptanalyst tries to perform the reverse task: to crack the ciphertext or to forge it so that it is accepted as genuine.

One of the basic assumptions of cryptography is that the enemy's cryptanalyst has the complete ciphertext and a known encryption algorithm, in addition to the secret key. Under these assumptions, the cryptographer develops a system that is robust to analysis based only on the ciphertext. In fact, some complication of the cryptographer's task is allowed. An adversary's cryptanalyst may have fragments of the plaintext and the corresponding ciphertext. In this case, the cryptographer develops a robust system when analyzing the plaintext. A cryptographer can even assume that an adversary's cryptanalyst is able to enter his plaintext and obtain the correct ciphertext using the secret key (chiphertext-based analysis), and finally combine the last two possibilities (plaintext-based analysis).

Many of the attacker's strategies can be blocked by cryptographic security measures, but it should be noted that most of the attacker's strategies are related to user and message authenticity issues [161].

Cryptographic protection subsystem. The subsystem combines the means of cryptographic protection of information and is designed to ensure the integrity, confidentiality, authenticity of critical information, as well as to ensure the legal significance of electronic documents in IS. In a number of functions, the subsystem cooperates with the NSD protection subsystem. Support of the cryptographic protection subsystem of the key management subsystem is provided by the SZY management subsystem.

Structurally, the subsystem consists of:

- software tools for symmetric data encryption;
- hardware and software for digital signature of electronic documents (PAS CP).

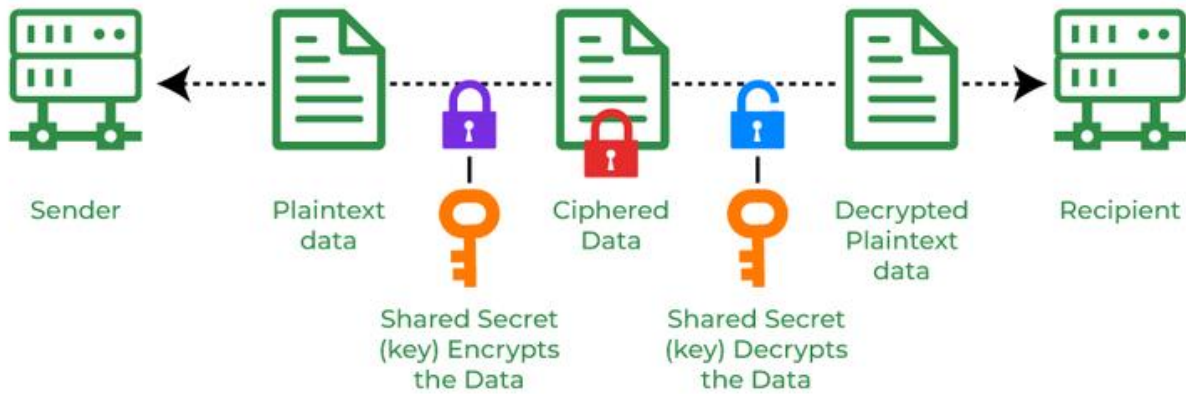
Functions of the subsystem include;

- ensuring the integrity of information transmitted through communication channels and information stored;
- impersonation protection of messages transmitted by communication channels;
- hiding the content of confidential messages transmitted by communication channels and stored on media;
- ensuring the legal significance of electronic documents;
- provision of data source authentication.

The functions of the subsystem are aimed at eliminating the most common message threats in automated systems:

- threats aimed at unauthorized access to information;
- unauthorized reading of information on machine media and in computer memory;
- illegal connection to equipment and communication lines;
- removal of information on power buses;
- interception of EMI from communication lines;

- threats aimed at unauthorized modification (integrity violation) of information:
- changing the service or content part of the message;
- message replacement;
- removal (destruction) of the message (Pic. 2).



Picture 2 – Symmetric Key Cryptography

Threats aimed at distorting the authenticity of the message sender:

- illegally assigning another user's identifiers, creating and sending an electronic document on his behalf (masquerade) or claiming that the information was received from some user, although it was created by the violator himself;
- retransmission of a document created by another user;
- distortion of critical fields of the document (formation date, serial number, address data, identifiers of the sender and recipient) [162].

Threats related to non-recognition of participation:

- refusal to create an electronic document;
- denial of receipt of an electronic document or false information about the time of its receipt;
- a claim that a recipient was sent information at a certain time that was not actually sent (Pic. 3).



Picture 3 – Asymmetric Key Cryptography

Authenticity of messages. The ultimate goal of encryption is to ensure the protection of information from unauthorized access, authentication, to ensure the protection of participants in information exchange from deception based on imitation, for example, forging ciphertext before the arrival of the real ciphertext, replacing (imposing) false information after the arrival of real encryption.

Information authentication means establishing the authenticity of information solely on the basis of the internal structure of the information itself, regardless of the source of this information, establishing by the legal recipient (perhaps an arbitrator) the fact that the received information was most likely transmitted by the legal sender (source) and that it was not replaced or distorted [163].

Any deliberate and accidental attempts to distort information are detected with a certain probability. The problem of authenticity manifests itself most fully in computer networks, where the following types can be distinguished:

- network user authentication – authentication of a network user who needs access to protected information or needs to connect to the network;
- network authentication – establishing the authenticity of the network accessed;
- authentication of arrays of programs and stored data – establishing the fact that this array has not been changed during the time when it was out of direct control, as well as solving questions about the authorship of this array of data;

- authentication of messages – establishing the authenticity of the content of a message received through communication channels and solving questions about the authorship of a message [164].

Solving the specified tasks is possible both with the use of classic encryption systems and public key systems. Cryptographic methods of information protection are based on the use of cryptographic systems, or ciphers. Cryptosystems make it possible to protect information with a high degree of reliability by means of its special transformation. One or more secret parameters unknown to the attacker are used in the crypto-transformation, which is the basis of the stability of cryptosystems.

Cryptosystems are divided into symmetric and asymmetric. In symmetric systems, message conversion (encryption) and reverse conversion (decryption) are performed using the same secret key shared by the sender and receiver of the message. In asymmetric or public-key systems, each user has his own key pair consisting of an encryption key and a decryption key (public key and secret key), while the public key is known to other users. The main methods are encryption, digital signature and impersonation of messages. Encrypting messages allows you to transform the original message (plain text) into an unreadable form. The result of the conversion is called a ciphertext. An attacker without knowledge of the secret encryption key cannot decrypt the ciphertext. Symmetric cryptosystems are usually used to encrypt messages [165].

Encryption provides:

- hiding the content of the message;
- authentication of the data source, only the owner of the secret key could generate and send the ciphertext; however, the electronic document has no legal significance, since falsification is possible on the part of the recipient, who also possesses the secret key.

Digital signature provides:

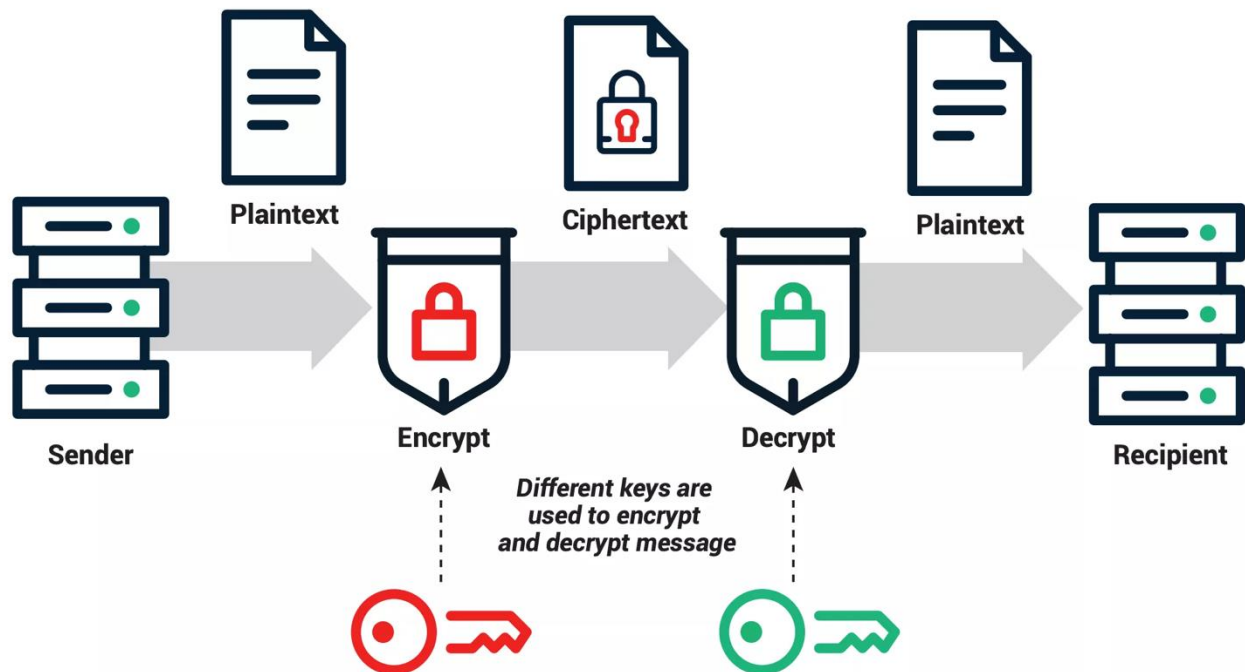
- authentication of the data source, only the owner of the secret asymmetric key could form a digital signature; the recipient has only a public key on which the signature can be verified, including by an independent third party;

- integrity of the message: an attacker cannot purposefully change the text of the message, as this will be revealed during the verification of the digital signature, which includes the encrypted checksum of the message; however, it may accidentally modify the ciphertext or impose a previously transmitted ciphertext;
- the legal significance of the message: a digital signature is equivalent in properties to a handwritten signature due to the impossibility of its forgery, the possibility of verification by the recipient of the document and an independent third party (arbitrator) and ensuring the authentication of the creator of the signature [166].

Imitation protection of messages consists in the formation of a checksum (imitation rate, message authentication code) based on the crypto algorithm attached to the message. After that, the message with the dummy insert is usually encrypted using a symmetric cryptographic algorithm. The principles of generating imitation rates (message authentication codes) are discussed in detail in the preliminary project «Development of a package of software tools for ensuring the legal validity of licenses through a digital signature»[167].

Imitation protection ensures – the integrity of the message in accordance with the properties of the checksum. Analysis of available methods of cryptographic transformations. Currently, both symmetric and asymmetric cryptosystems are widely used. Symmetric systems are used mainly for encryption, as well as for generating cryptographic checksums (imitation rates, hash functions). According to the method of using information encryption tools, stream and block symmetric encryption are usually distinguished. With stream encryption, each symbol of the source text is converted independently of the others, which allows encryption to be carried out simultaneously from data transmission over the communication channel. In block encryption, the source text is transformed indirectly, and the transformation of symbols within the block is interdependent. A large number of block encryption algorithms are known, including those adopted as national standards. The most famous American algorithm

is DES. Encryption of messages is carried out at the subscriber or channel level. Encryption tools are implemented software, hardware-software or hardware (Pic. 4).



Picture 4 – Model Encrypt

In addition, transparent disk encryption requires a significant overhead of system resources (time and performance). And not only directly in the process of reading and writing data. The fact is that reliable cryptographic closure of information involves the periodic change of encryption keys, and this leads to the need to re-encrypt all information on the disk using a new key (it is necessary to decrypt all information using the old and encrypt using the new key). It takes much time. In addition, when working in a system with encrypted disks, delays occur not only when accessing data, but also when starting programs, which greatly slows down the computer [168].

Therefore, it is necessary to use cryptographic protection in a limited way, protecting only that information that really needs to be closed from unauthorized access.

6.2 Інформаційна технологія аналізу медичних зображень на основі моделі пояснювального штучного інтелекту

Вступ

Зі зростанням населення, пропорційно зростає і попит на лікарів, зокрема, на рентгенологів опорно-рухового апарату. Останні статистичні дослідження прогнозують значний дефіцит експертів-рентгенологів, а також інших спеціалістів у галузі медицини. Лише в США нестача лікарів у галузі рентгенології може перевищити 35 000 до 2034 року, згідно з нещодавно опублікованим щорічним аналізом потреби у лікарських спеціальностях, зробленим Асоціацією американських медичних коледжів [1].

Дана статистика підводить до висновку, що існує потреба в надійних комп'ютеризованих системах, які могли б допомогти рентгенологам у виявленні патологічних станів під час аналізу МРТ пацієнтів. Основним застосуванням таких систем має бути зменшення робочого навантаження лікарів-спеціалістів, яке на даний момент постійно зростає.

В питанні інтерпретації результатів автоматизованого діагностування, також можна відзначити відсутність актуальних досліджень для зображень МРТ колінного суглоба, в першу чергу через суттєву складність побудови моделей для інтерпретації, зважаючи на багатовимірність вхідних даних.

Метою роботи є підвищення точності та інтерпретованості аналізу медичних даних, зокрема, серій знімків магнітно-резонансної томографії, на основі ансамблю методів машинного навчання (МН).

Інтерпретації рішень у автоматизованому діагностуванні. Існуючі алгоритми інтерпретації.

Розуміння та інтерпретація класифікаційних рішень автоматизованих систем діагностування в медицині має велике значення, оскільки це дозволяє перевірити міркування системи та надає додаткову інформацію людині – фахівцю, котрому надаються дані для підтримки прийняття рішень. Незважаючи

на те, що методи машинного навчання дуже успішно вирішують безліч завдань, у більшості випадків вони мають той недолік, що діють як чорна скринька, себто не надають жодної інформації про те, яка частина вхідних даних вплинула на конкретне рішення класифікації [170].

Відсутність інтерпретабельності пов'язана з нелінійністю різних відображень, які обробляють пікселі зображення до його представлення як вектору ознак, і надають це представлення до кінцевої функції класифікатора. Це є значним недоліком у застосуванні методів машинного навчання до класифікації у реальному житті, оскільки це заважає фахівцям ретельно перевіряти рішення щодо класифікації. Проста відповідь «так» або «ні» іноді має обмежену цінність у застосуваннях, де питання розташування або структури є більш доречними, ніж проста бінарна оцінка. Крім цього, є багато інших аргументів на користь інтерпретабельного штучного інтелекту [171], наприклад:

- **Перевірка коректності:** як згадувалося раніше, у багатьох застосуваннях, не можна безумовно довіряти системі типу чорної скриньки. Наприклад, у сфері охорони здоров'я використання моделей, які можуть бути інтерпретовані та перевірені медичними експертами, є абсолютною необхідністю. Існує приклад [172], де система штучного інтелекту, яка була навчена передбачати ризик пневмонії у людини, приходять до абсолютно хибних висновків. У процесі навчання модель дізнається, що хворі на астму з проблемами серця мають набагато менший ризик смерті від пневмонії, ніж здорові люди. Лікар-фахівець би одразу помітив, що це не може бути правдою, оскільки астма та проблеми з серцем є факторами, які негативно впливають на прогноз щодо одужання. Однак модель штучного інтелекту нічого не знає про такі явища як астма або пневмонія, а лише робить висновки з наявних даних. У цьому прикладі дані були систематично зміщені, оскільки на відміну від здорових людей більшість хворих на астму та серцево-судинні захворювання перебували під більш суворим медичним наглядом, ніж інші пацієнти.

- **Удосконалення.** Першим кроком до вдосконалення системи ШІ є розуміння її слабких сторін. Очевидно, що важче виконати такий аналіз слабких місць на моделях типу чорної скриньки, ніж на моделях, які можна інтерпретувати. Також легше виявити упередження в моделі або наборі даних (як у прикладі з пневмонією), якщо зрозуміти, що робить модель і чому вона приходить до своїх прогнозів. Можливість інтерпретації моделі може бути корисною при порівнянні різних моделей або архітектур. Деякі моделі можуть бути приблизно однаковими в плані якості класифікації, але їх архітектура передбачає суттєві відмінності між ознаками, що використовуються як основа для прийняття рішень. Це демонструє, що більш повні методи порівняння моделей вимагають інтерпретованості цих моделей. Також можна спробувати прослідкувати тенденцію, що краще розуміння поведінки моделей машинного навчання, дає більше простору до їх удосконалення.
- **Навчання на результатах передбачення:** оскільки сучасні системи штучного інтелекту навчаються на мільйонах прикладів, вони можуть спостерігати закономірності в даних, які раніше не були відомі широкому загалу оскільки люди здатні вчитися на значно меншій кількості прикладів. Використовуючи пояснювані системи штучного інтелекту, можна спробувати використовувати системи штучного інтелекту для отримання нових знань.
- **Відповідність законодавству:** системи ШІ впливають на все більше сфер нашого повсякденного життя. Разом з тим останнім часом підвищена увага приділяється також юридичним аспектам, наприклад, питанню відповідальності за рішення класифікації, коли система приймає неправильне рішення. Оскільки неможливо знайти задовільні відповіді на ці юридичні питання, покладаючись на моделі типу чорної скриньки, майбутні системи ШІ обов'язково повинні стати інтерпретабельним.

На сьогоднішній день існує декілька способів побудови пояснень для систем автоматизованого діагностування. Найпростіші методи опираються на

карту помітності, або карту салієнтності (англ. saliency maps). Карту помітності можна розглядати як приклад сегментації зображення. У комп'ютерному баченні процес сегментації зображення – це поділ цифрового зображення на декілька множин пікселів, відомих як суперпікселі. Мета сегментації полягає в тому, щоб спростити представлення зображення до більш значущого і легшого для аналізу. Зазвичай, сегментація використовується для визначення місцезнаходження об'єктів та їх меж на зображеннях [173].

Згідно із останніми дослідженнями ефективності використання підходів на базі карт помітності для пояснення результатів класифікації зображення глибинними нейронними мережами, дані алгоритми не є достатньо повними, оскільки погано враховують зміни в параметрах чи архітектурі моделей, результати класифікації яких вони намагаються пояснити.

У роботі [173], п'ять та два методи використання карт помітності (з восьми загалом) не пройшли рандомізований тест моделі на сегментаційному наборі даних та наборі виявлення об'єктів відповідно. Було зроблено припущення, що методи карт помітності не є чутливими до змін параметрів самої моделі. Повторюваність і відтворюваність більшості методів із використанням карт помітності були значно гіршими, аніж спеціально навчені підмережі локалізації, що було показано також на сегментаційному наборі даних, та наборі виявлення об'єктів.

У дослідженні [174], автори оцінювали ефективність кількох популярних методів карт помітності на наборі даних RSNA Pneumonia Detection щодо можливостей локалізації, стійкості до параметрів моделі при рандомізації позначок класів, а також повторюваності та відтворюваності з різноманітними архітектурами моделей. Було виявлено, що метод GradCAM [175] показав чудову чутливість до параметрів моделі та рандомізації міток і був агностичним до архітектури моделі, в той час як традиційні методи на основі карт помітності не змогли показати суттєвих результатів у цьому.

Робота описує техніку для більш прозорих передбачень моделей на основі згорткових нейронних мереж, шляхом візуалізації вхідних областей, які є

«важливими» для прогнозів, створюючи візуальні пояснення. Саме цей підхід було названо Gradient-weighted Class Activation Mapping, або ж Grad-CAM. Він використовує інформацію про градієнти класу для локалізації важливих регіонів. Ці локалізації поєднуються з існуючими візуалізаціями піксельного простору, щоб створити нову візуалізацію з високою роздільною здатністю та розрізненням класів під назвою Guided Grad CAM. Ці методи допомагають краще зрозуміти моделі на основі згорткових нейронних мереж, включаючи моделі підписів до зображень і візуальних відповідей на запитання. Grad-CAM пропонує принципово новий спосіб пояснення результатів передбачення. Принцип роботи даного алгоритму зображено на рисунку 1.

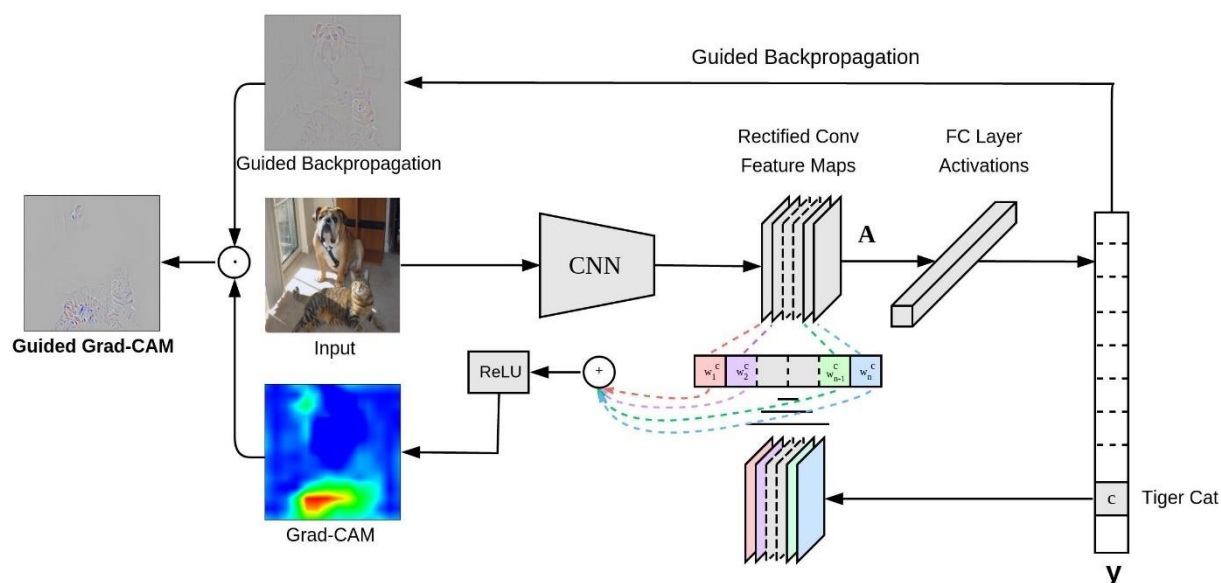


Рисунок 1. Огляд та візуалізація роботи алгоритму пояснення Grad-CAM

Алгоритм працює наступним чином – маючи вхідне зображення та мітку категорії («тигровий кіт») як вхідні дані, зображення проганяється через згорткову нейронну мережу, щоб отримати необроблені оцінки кожного класу перед задіювання функції активації softmax. Для градієнту встановлюється початкове значення як нуль для всіх класів, за винятком мітки класу із вхідних даних, яка має значення 1.

Цей сигнал потім поширюється у зворотному напрямку на випрямлену карту ознак згорткової нейронної мережі, де обчислюється груба локалізацію Grad-CAM теплова карта на рисунку 1. Нарешті, відбувається поточкове

множення теплової карти за допомогою керованого зворотного поширення, щоб отримати візуалізацію Grad-CAM, яка має високу роздільну здатність, і також розрізняє класи.

Підхід латентного зсуву

Нещодавно ідея візуалізації прогнозів через перебільшення ознак, які впливають на передбачення моделі, була запропонована у роботі [176]. Це перебільшення є результатом здатності нейронної мережі створювати, або “галюцинувати” нові ознаки, і цей процес, як відомо, може бути контрольованим.

Замість того, щоб просто генерувати зображення певного класу, згадані методи перебільшення можуть пояснити конкретні особливості, які використовує класифікатор для кожного прогнозу. Це важливо для прогнозування, коли модель передбачає використання неправильних хибних корелятивів, щоб переконатися, що вона правильна з правильних причин. У той час як більшість моделей прогнозування патології на зображенні передбачають причинно-наслідкові зв'язки, де конкретні області зображення явно призводять до застосування певної класифікаційної мітки (наприклад, збільшене серце → кардіомегалія), моделі, що прогнозують ризик у майбутньому (наприклад, прогноз смертності протягом 5 років), не мають заздалегідь відомого причинно-наслідкового зв'язку. У таких сценаріях можна дізнатися, які саме ознаки можуть використовуватися в моделях, що здійснюють такі передбачення через перегляд згенерованого зображення із перебільшеними ознаками.

У роботі [177] описано підхід латентного зсуву, або модель латентної змінної, такої як простий автокодувальник $D(E(x))$, де E — кодувальник, а D — декодувальник, і також присутній класифікатор f , який робить передбачення цільового показника у наступним чином: $y = f(x)$. Модель латентної змінної та класифікатор навчаються незалежно без будь-яких особливих обмежень, окрім того, що вони повинні бути диференційовними. Автокодувальник використовується з метою простоти навчання та програмної реалізації.

Коли моделі кодувальника та декодувальника є навчені, пояснення рішення класифікатора можна обчислити наступним чином:

Вхідне зображення x кодується за допомогою $E(x)$, створюючи його представлення у просторі латентної змінної z . Збурення латентного простору обчислюються для класифікатора f у рівнянні 1, який потім використовується для отримання λ -зміщених вибірок зображення, показаних у рівнянні 2.

$$z_\lambda = z + \lambda \frac{\partial f(D(z))}{\partial z} \quad (1)$$

$$x'_\lambda = D(z_\lambda) \quad (2)$$

Очікується, що зображення x'_λ дасть вищий прогноз, такий, що $f(x'_\lambda) > f(x)$. Звідси ми можемо генерувати кілька зображень x'_λ , щоб здійснити перебільшення або видалення ознак на зображенні, які призводять до певного прогнозу. Ці зображення можна з'єднати в короткі послідовності, які допомагають пояснити, чому було зроблено конкретне передбачення та які саме ознаки і в якій мірі використовувалися даним класифікатором.

Візуалізацію методу, описаного в роботі [177] показано на рисунку 2.

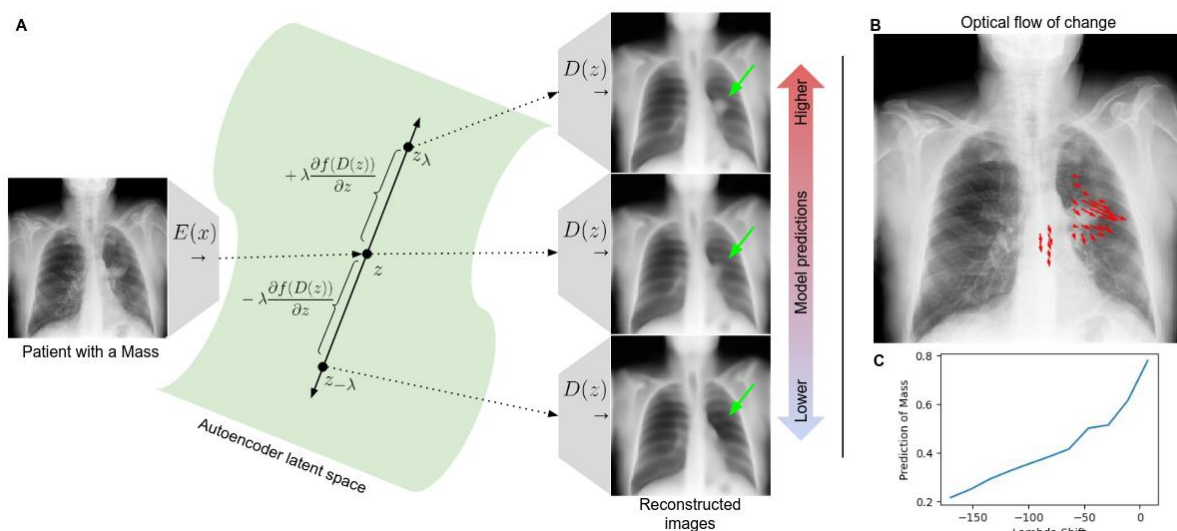


Рисунок 2. Візуалізація методу латентної змінної для побудови зображень із перебільшеними ознаками

При цьому підході також дуже важливо мати на увазі, що метод є обмежений простором латентного представлення ознак автокодувальника. Якщо декодувальник не є достатньо виразний, він не зможе правильно представити ознаки, які використовує класифікатор. Проте цей підхід дозволяє порівнювати декілька класифікаторів із фіксованим автоматичним кодувальником (або вибором моделі латентної змінної), що дозволяє чітко зрозуміти використання різноманітних ознак із зображення у моделях.

По суті, цей метод можна вважати протилежним до методу adversarial attack у GAN. Якби здійснювалася проста модифікація зображення за допомогою градієнта $\frac{\partial f(x)}{\partial x}$, що є традиційним підходом у adversarial attack, модифікація ознак була б непомітною та спотворювала б зображення шляхом вибору помилкових пікселів, які мали б вплив на цільову змінну.

У підході латентної змінної, процес є упорядкованим за допомогою фіксованого декодувальника, щоб запобігти зміні незначущих пікселів зображення. Загалом, у даному підході ставиться завдання змінити лише найбільш семантично значущі пікселі ознак, які призводять до конкретного результату класифікації.

Побудова інтерпретаційної моделі

Які проблеми було виявлено при побудові інтерпретаційної моделі?

MPT можна вважати багатовимірними зображеннями, оскільки кожен розріз складається із набору вхідних зображень. Також, ці зображення розташовуються в строгій послідовності, інакше втрачається сенс обстеження з точки зору просторових координат. Тому, власне генерація таких складних вхідних даних за допомогою GAN цілком може вписатися в рамки окремого дисертаційного дослідження, оскільки є дуже складною як в плані алгоритмізації, так і в плані наявності ресурсів для обчислень.

Чому? Навіть не враховуючи той факт, що контрафактні зображення повинні абсолютно не відрізнятися від оригіналів у більшості частин за винятком зон із ознаками, додатково потрібно забезпечити їх цілісність в розрізі – тобто,

згенероване зображення повинне лише мінімально відрізнятись від попереднього та наступного у розрізах.

Для того, аби мати змогу застосувати підхід генерації контрафактних зображень у даному дослідженні, при побудові моделі пояснення було використано наступні спрощення:

1. Модель пояснення може працювати виключно із одним зображенням на одному розрізі МРТ. Зображення повинне знаходитися на відстані не більше ніж F розрізів від умовного центру серії зображень МРТ (у розробленій інформаційній системі передбачається перевірка цієї умови для вибору зображень для запуску моделі пояснення).
2. В якості вхідних даних для класифікатора, використовуються оригінальні дані, за винятком середини серії, де обране зображення викривлюється у просторі ознак дискримінатора із відхиленням λ , яке повторюється $2 \cdot F$ разів у центральній зоні серії.

Тут введено параметр F , котрий означає максимальну відстань від умовного центру серії зображень МРТ, на якій можна вибрати зображення для запуску моделі передбачення. За допомогою валідації моделі передбачення на вхідному наборі даних MRNet, було експериментально підібрано значення параметра $F = 3$. Схематично, принцип підстановки контрафактних зображень на вхід моделі зображено на рисунку 3.

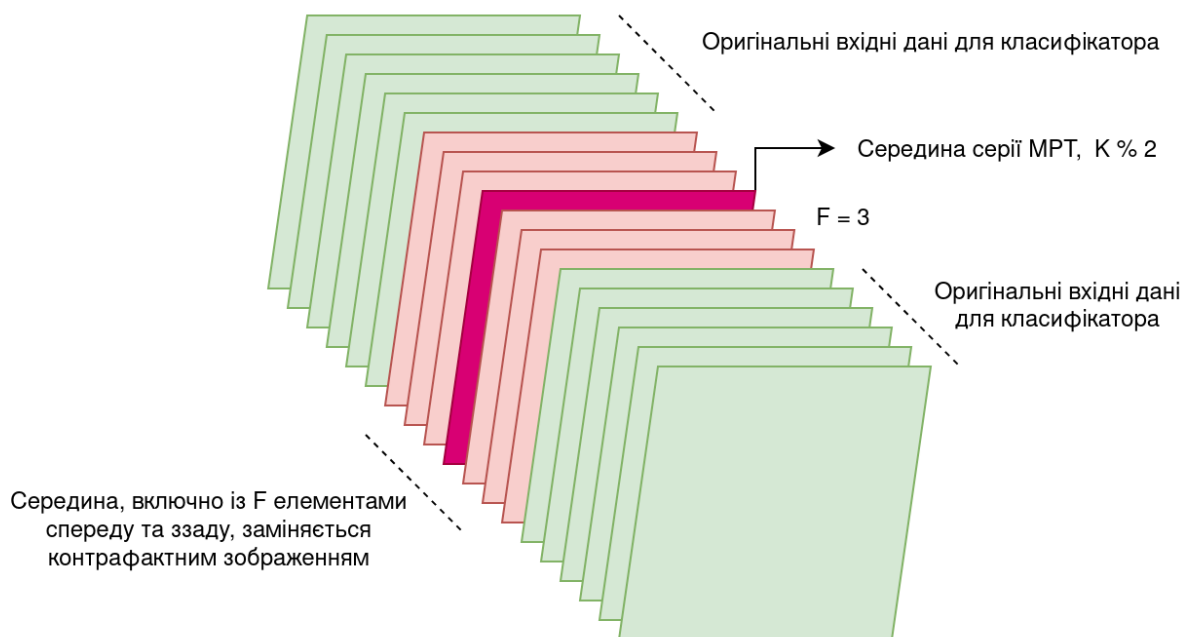


Рисунок 3. Схематика підстановки контрафактних зображень на вхід класифікатора для пояснювальної моделі, де K – кількість зображень у серії, F – параметризована максимальна відстань від центру серії до обраного зображення, на основі якого будується пояснення

Отже, оскільки на вхід до класифікатора подається середня зона серії зображень, яка дещо відрізняється від оригінальної, з метою спростити обчислення. Через це також відбувається і внесення похибок в результат передбачення.

Тому, пояснення не будуть ідеальними (якими вони могли би бути, враховуючи всю повноту вхідних даних). Проте у цьому випадку точністю доводиться в деякій мірі пожертвувати, задля можливості побудувати модель пояснення в цілому.

Яким чином можна визначити відхилення точності передбачення при процесах класифікації та пояснення? У даній роботі проведено експеримент, використовуючи в якості вхідних даних валідаційну частину набору даних MRNet. При фіксації випадкових початкових значень, було обчислено

ймовірність діагнозу на завданні класифікації для оригінальних вхідних даних, а також для даних із видозміненою середньою частиною серії зображень, використовуючи центральне зображення замість $F = 3$ суміжних з кожного боку, порівнюючи результат передбачення.

У результаті експерименту, на валідаційному наборі даних MRNet при значенні параметра $F = 3$ було отримано середнє відхилення результату передбачення 0.095623 що вважається допустимим для можливості побудови інтерпретаційної моделі. Параметр F було підібрано таким чином, щоб забезпечити найменшу похибку у разі використання підходу генерації контрафактних зображень, але при цьому маючи змогу виділити бажане центральне зображення із серії МРТ для більшості МРТ із валідаційного набору даних.

Врахувавши та прийнявши можливі неточності у передбаченні при побудові інтерпретаційної моделі, у даній роботі було здійснено тренування моделі на базі cGAN [175]. Аналогічно, як у згаданій роботі, маємо функцію пояснення, яка виглядає наступним чином:

$$L_f(x, \lambda): (X, R) \rightarrow X \quad (3)$$

Тут, x — це вхідне зображення, для якого потрібно згенерувати пояснення, а λ — це додатній або від'ємний зсув, призначений для класифікатора f . Функція $L_f(x, \lambda)$ діє з декартового добутку простору зображень X та простору дійсних чисел R на простір вхідних зображень X .

Функція пояснення складається із кількох компонентів, включаючи згадані вище елементи автокодувальника — кодувальник $E(x)$ та декодувальник $G(z)$. У даному дисертаційному дослідженні, автокодувальник побудовано на базі ResNet. Автокодувальник було навчено з нуля на базі середніх зображень МРТ із сагітальних розрізів тренувального набору даних MRNet, де найбільш помітно передню хрестоподібну зв'язку (ACL).

Функція втрат для автокодувальника складається із декількох частин, і покликана задовільнити деякі обмеження на контрафактне зображення. По-

перше, контрафактне λ — зміщене зображення повинно належати тому ж простору вхідних зображень X , що й оригінальне зображення. Для цього, зображення повинні мінімально відрізнятися одне від одного. Тому, функція втрат для декодувальника та дискримінатора виглядає наступним чином:

$$L_{cGAN} = E_{x, \lambda P(x, \lambda)} \quad (4)$$

Тут в якості P позначаємо розподіл параметрів для λ, x , а також z . Розподіл zP_z — це шум, взятий із нормального розподілу у просторі латентної змінної z .

Саме z — це латентне представлення вхідного зображення X , яке утворюється в результаті роботи кодувальника $E(x)$. E — це математичне сподівання по заданому розподілу.

На додачу до цього, семантично виділені регіони згенерованих зображень повинні бути співставними з оригіналом. Однеї лише функції втрат на основі подібності двох зображень є недостатньо для генерації досить подібних зображень, тому додатково натреновано модель семантичного виділення хрестоподібної зв'язки $S(x)$ на зображеннях МРТ.

Результат роботи моделі семантичного виділення враховується дискримінатором $D(\cdot)$ при кінцевому відборі кандидатів на зображення x_λ . Результат виконання моделі виділення хрестоподібної зв'язки показано на рисунку 4.

Тому, додатково задана функція втрат, що враховує співпадіння регіонів для оригінального та контрафактного зображення. Простими словами, ця частина загальної функції втрат «штрафує» генератор зображень, якщо у заданих зображеннях не співпадають регіони передньої хрестоподібної зв'язки, що виділені моделлю виділення $S(x)$.



Рисунок 4. Приклад роботи екстракції зони, де знаходиться хрестоподібна зв'язка із сагітального розрізу зображення МРТ.

$$L_{rec} = |p_{ij} - p_{ij}^{\lambda}|, (i, j) \in S(x), \quad (5)$$

де p_{ij} – це значення пікселя в двовимірному чорно-білому зображенні x , а p_{ij}^{λ} – у зображенні x_{λ} , відповідно. $S(x)$ повертає множину точок (i, j) , котрі включають в себе передню хрестоподібну зв'язку. Таким чином, маємо функцію втрат, що рахує абсолютні значення різниці пікселів на частині зображення, яка прокласифікована як передня хрестоподібна зв'язка. Інтуїтивно, цей регіон повинен бути розташований у тому самому місці на обох зображеннях.

Нарешті, класифікатор $f(x)$ повинен давати приблизно λ - зміщену ймовірність передбачення для зображень x та x_{λ} . Для цього, використано функцію втрат на основі розходження Кульбака — Лейблера.

$$L_f(D, G) := r(f(x) + \lambda|x) + D_{KL}(f(x_{\lambda})|f(x) + \lambda).$$

Отож, функція пояснення в процесі свого навчання, маючи заданий автокодувальник $E(G)$, а також дискримінатор D , повинна мінімізувати наступну функцію втрат:

$$L = c_{CGAN} \cdot L_{CGAN}(D, G) + c_f \cdot L_f(D, G) + c_{rec} L_{rec}(E, G) \quad (6)$$

Загальна архітектура функції пояснення показана на рисунку 5.

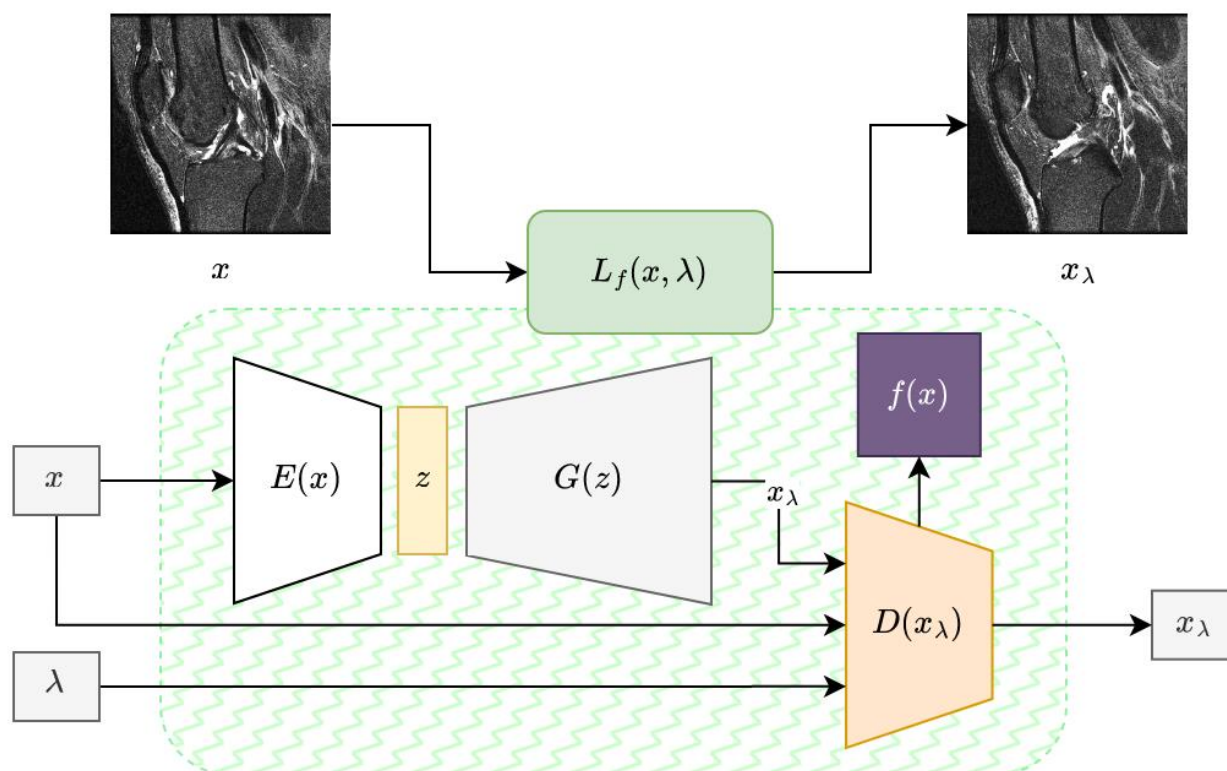


Рисунок 5. Архітектура пояснювальної функції $L_f(x, \lambda)$. Вхідне зображення x проходить через кодувальник $E(x)$, і формується його представлення у просторі латентної змінної z . Далі, декодувальник $G(z)$ здійснює реконструкцію вхідного зображення, та подає його на дискримінатор $D(\cdot)$, який вирішує, чи задовільняє згенероване зображення критеріям функцій втрат, використовуючи як саме зображення, так і функцію-класифікатор.

На відміну від мережі для автоматизованого діагностування, тут не розглядалися різноманітні варіанти каркасних мереж для пояснюваного навчання, оскільки це потребує значних затрат часу та обчислювальних ресурсів. Натомість, для елементів інтерпретаційної моделі було задіяно найбільш ефективні та прості в імплементації мережі з наявних.

У таблиці 1 показано роботу частини інтерпретаційної моделі, котра займається генерацією зображень на основі оригінального, використовуючи підхід латентної змінної із заданими значеннями зсуву λ .

Для того, аби побудувати карту помітності на основі цих даних, у цій роботі використано алгоритм піксельної відмінності між двома зображеннями у чорно-білому спектрі.

Беруться два вхідних зображення (оригінальне зображення x , та контрафактне із найбільшим значенням λ - $x_{\lambda=0.8}$ конвертується у матрицю інтенсивності пікселів розміром 256×256 , і для кожного пікселя обчислюється абсолютне значення різниці інтенсивності I_D між даними зображеннями:

$$x = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & p_{1,3} & \cdots & p_{1,256} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,3} & \cdots & p_{2,256} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{256,1} & p_{256,2} & p_{256,3} & \cdots & p_{256,256} \end{bmatrix}$$

$$x_{\lambda} = \begin{bmatrix} p_{1,1}^{\lambda} & p_{1,2}^{\lambda} & p_{1,3}^{\lambda} & \cdots & p_{1,256}^{\lambda} \\ p_{2,1}^{\lambda} & p_{2,2}^{\lambda} & p_{2,3}^{\lambda} & \cdots & p_{2,256}^{\lambda} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{256,1}^{\lambda} & p_{256,2}^{\lambda} & p_{256,3}^{\lambda} & \cdots & p_{256,256}^{\lambda} \end{bmatrix}$$

$$I_D = (d_{ij}), d_{ij} = |p_{ij}^{\lambda} - p_{ij}|, i = \overline{1,256}, j = \overline{1,256}$$

Абсолютне значення різниці інтенсивності потім кодується у нове зображення розміром 256×256 , і використовується в якості пояснювального зображення.

Приклад даного алгоритму візуалізації відмінностей між оригінальним та контрафактним зображеннями можна бачити на рисунку 6.

Таблиця 1. Контрафактні зображення для інтерпретаційної моделі, згенеровані на сагітальному розрізі для діагностування розриву ACL.

| Зображення | λ | $f(x_\lambda)$ | $ F(x_\lambda) - F(x) - \lambda $ |
|---|--|----------------|-----------------------------------|
|  | - | 0.17803 | - |
| | <p>Оригінальне зображення. Середній розріз МРТ, який прокласифіковано моделлю автоматизованого діагностування як малоймовірний з точки зору розриву ACL. На малюнку видно візуально неушкоджену передню хрестоподібну зв'язку.</p> | | |
|  | 0.2 | 0.35100 | 0.02704 |
| | <p>Згенероване контрафактне зображення із заданим $\lambda = 0.2$. Видно незначне потоншення лівої частини хрестоподібної зв'язки, на що класифікатор відреагував збільшенням ймовірності розриву.</p> | | |
|  | 0.5 | 0.59225 | 0.08577 |
| | <p>Згенероване контрафактне зображення із заданим $\lambda = 0.5$. Видно суттєве видозмінення лівої частини зв'язки, а також незначне видозмінення правої частини. Модель класифікації відреагувала відповідно, хоча із значною похибкою.</p> | | |
|  | 0.8 | 0.94476 | 0.03327 |
| | <p>Згенероване контрафактне зображення із заданим $\lambda = 0.8$. Видно, що на зображенні практично відсутня ліва частина хрестоподібної зв'язки.</p> | | |

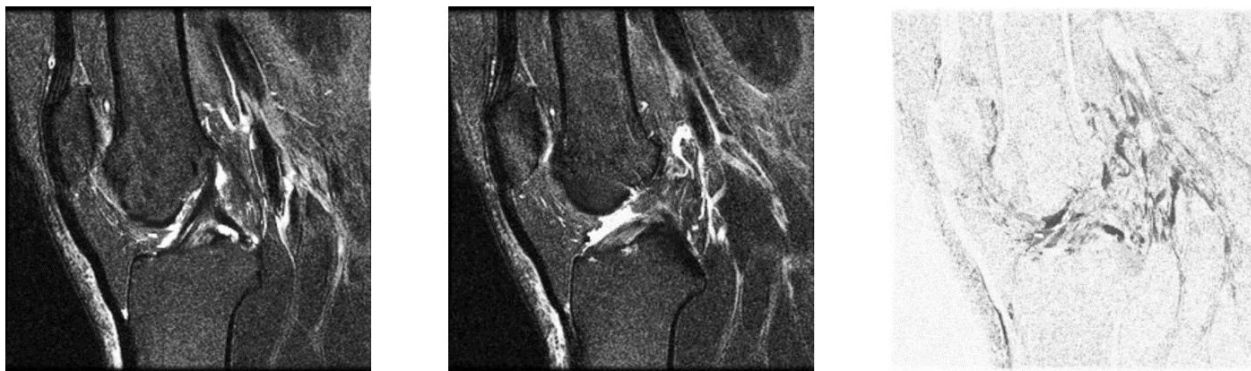


Рисунок 6. Візуалізація алгоритму створення пояснювального зображення(праворуч) для вхідного малюнку(ліворуч), на основі максимально контрафактного малюнку(по центру)

Висновки

У дослідженні розроблено інтерпретаційну модель для задачі діагностування ушкоджень МРТ коліна, на основі методу зсуву латентної змінної. Методологія інтерпретації полягає у генеруванні контрафактних зображень, з подальшою їх параметризованою підстановкою у оригінальну серію зображень МРТ.

Було підібрано оптимальні параметри для вставки з метою максимально зберегти вхідну точність класифікатора, із максимальною похибкою передбачення між оригінальними та контрафактними серіями в межах 0.096.

SECTION 7. INFORMATICS, COMPUTING AND AUTOMATION

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.7.1

7.1 Методика оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет

Анотація. В статті розглядаються питання щодо розробки комплексної методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет для періодів як мирного так і військового часу. У якості коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння обрано середній коефіцієнт надійності наземного засобу зенітного озброєння за визначений інтервал наробітку. Оцінка коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння у воєнний час від мирного часу відрізняється тим, що при розрахунках враховано тривалість ведення протиповітряного бою. Заключною складовою комплексної методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет є саме методика визначення коефіцієнта боєготовності зенітних керованих ракет за результатами бойових стрільб (бойових дій). Результатом цієї складової даної методики є розрахований коефіцієнт надійності бойового використання ракети j -го боєкомплекту при проведенні бойової стрільби.

Вступ. 24 лютого 2024 року минуло два роки від початку злочинного повномасштабного вторгнення російських військ в Україну з масованим бомбардуванням мирних міст. Цей напад став кульмінацією загарбницької війни, яку Москва розпочала проти України 10 років тому з окупації Криму. Світ визнав війну Росії проти України найсерйознішим збройним конфліктом в Європі від часів Другої світової війни. Минуло 10 років очікувань та сподівань. Але боротьба нашої держави триває і досі. Вирішальним фактором завершення війни буде перебіг і результати воєнних дій, ресурсне забезпечення воюючих сторін. Але на умови і саму можливість завершення війни також впливатиме

розвиток соціально-політичної та економічної ситуації в Росії, Україні, США та ЄС, і загальна міжнародна ситуація. Від поєднання даних чинників залежатимуть і умови завершення війни, і те, коли саме вона може завершитися.

Важливу роль у ході війни відіграють бойові дії зенітних ракетних військ (ЗРВ), як основної складової протиповітряної оборони держави. Досягнення високої ефективності ведення бойових дій частинами і підрозділами ЗРВ Повітряних Сил Збройних Сил України не можливе без всебічного їх планування та забезпечення. Підготовленість виробів зенітного ракетного озброєння (ЗРО) до використання за призначенням не можливе без проведення заходів технічного забезпечення та обслуговування, що сприяли б забезпеченню високого рівня бойової ефективності бойових підрозділів і угруповання ЗРВ в цілому у ході їх застосування. Звідси виникає актуальне питання, у якому порядку, чи за якою методикою здійснювати оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем ЗРО та зенітних керованих ракет, що впливає на ефективність бойового застосування угруповання ЗРВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В роботі [178] автори проводять найглибший аналіз оцінки коефіцієнту бойової готовності підрозділу, при цьому вони показують, що даний коефіцієнт підміняється коефіцієнтом готовності озброєння та військової техніки (ОВТ), який визначається через врахування середнього часу до відмови і на відновлення працездатності цільового каналу. При цьому відсутній чітко визначений, на той час, порядок його обчислення.

В роботах [179] та [180] авторами розроблено пропозиції щодо оцінки боєготовності зразків ЗРО відповідно для періодів мирного і військового часу. Автори ввели коефіцієнт боєготовності виробу ЗРО і показують, що даний коефіцієнт $K_{б.г}(t)$ – є імовірність того, що у довільний момент наробітку (часу) t виріб ЗРО буде готовим до бойового використання і надалі безвідмовно профункціонує протягом заданого інтервалу часу бойового використання – $t_{б.в.}$

У роботі [179] показано, що коефіцієнт боєготовності виробу ЗРО у мирний час $K_{б.г.м}(t)$ – є імовірність того, що за винятком запланованих періодів, протягом

яких використання виробу ЗРО за призначенням не передбачено, він у довільний момент наробітку t виявиться готовим до бойового використання і надалі безвідмовно профункціонує протягом заданого наробітку бойового використання – $t_{б.в}$. Автори запропонували варіант оцінювання коефіцієнту боєготовності наземних засобів виробу ЗРО у мирний час і довели, що він має вигляд аналогічний коефіцієнту оперативної готовності відновлюваного об'єкта, а для ракет він визначається через імовірності безвідмовної роботи невідновлювальних об'єктів.

У роботі [180] автори показали та довели, що коефіцієнт готовності до бойового використання наземного засобу виробу ЗРО у воєнний час $K_{п.г.н.в}(t)$ – це імовірність того, що в умовах воєнного часу наземний засіб виробу ЗРО буде приведений у початкове положення та у довільний момент часу на етапі очікування використання за призначенням буде готовим до використання за призначенням. Надалі автори, з урахуванням особливостей застосування виробу ЗРО у військовий час, пропонують варіант оцінювання коефіцієнту боєготовності наземних засобів виробу ЗРО воєнного часу, при цьому вони показують, що даний коефіцієнт має аналогічний вигляд визначеному раніше коефіцієнту технічного використання відновлюваного об'єкта, а для ракет він визначається через імовірності безвідмовної роботи невідновлювальних об'єктів.

В роботі [181] автори, з урахуванням отриманих у роботах [179] та [180] результатів, розробили підхід щодо порядку оцінювання коефіцієнту боєготовності виробу ЗРО, як комплексного показника надійності, який враховує наявність у нього запасу ресурсу, своєчасність його приведення у початкове положення та підтримання у готовності до бойового використання, а також безвідмовність при бойовому використанні, як для умов мирного часу, так і для умов воєнного часу. Отриманий підхід дозволяє використовувати даний показник при проведенні розрахунків бойової ефективності підрозділів і військових частин у складі угруповань ЗРВ, при плануванні в процесі підготовки до ведення бойових дій та проведенні модернізації ОВТ і визначення стратегій

їх обслуговування [182]. Розроблений підхід автори пропонують застосовувати в ході перевірки бойової готовності частин та підрозділів ЗРВ. Такий підхід може бути застосовано при оцінюванні боєготовності як окремого засобу ЗРО, так і комплексів та систем зенітного ракетного озброєння в цілому. Тобто розроблений в [181] підхід може бути основою для розробки методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет.

Мета статті.

Метою статті є розробка комплексної методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет для періодів як мирного так і військового часу.

Виклад основного матеріалу.

Визначимо коефіцієнт боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння для мирного часу.

Визначення даного показника кожного із засобів систем зенітного озброєння для мирного часу можливе через статистичні оцінки середнього часу між відмовами та середнього часу відновлення.

Для розрахунку коефіцієнта боєготовності використовується останній інтервал наробітку ($t - \Delta t, t$), наприклад $\Delta t = 1$ рік за даними лічильників годин (приладів) наробітку під струмом шафів (блоків) апаратури.

До цього наробітку входять: сумарний час перебування у боєготовності $\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t)$ з наробітками (t_{6i}) між $n_6(t - \Delta t, t)$ відмовами боєготовності, що дорівнює

$$\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t) = \sum_{i=1}^{n_6(t - \Delta t, t)} t_{6i}; \quad (1)$$

сумарний час відновлень боєготовності $\hat{T}_{B\Sigma}(t - \Delta t, t)$ з наробітками ($t_{B.6i}$), що дорівнює

$$\hat{T}_{B\Sigma}(t - \Delta t, t) = \sum_{i=1}^{n_6(t - \Delta t, t)} t_{B.6i}; \quad (2)$$

сумарний наробіток проведення $m(t - \Delta t, t)$ технічних обслуговувань $\hat{T}_{\text{ТО}\Sigma}(t - \Delta t, t)$ з наробітками $t_{\text{ТО}j}$, що дорівнює

$$\hat{T}_{\text{ТО}\Sigma}(t - \Delta t, t) = \sum_{j=1}^{m(t-\Delta t, t)} t_{\text{ТО}.j} . \quad (3)$$

Таким чином, сумарний наробіток (Δt) апаратури і обладнання засобу ЗРС можливо визначити як:

$$\Delta t = \hat{T}_{\text{О}\Sigma}(t - \Delta t, t) + \hat{T}_{\text{В}\Sigma}(t - \Delta t, t) + \hat{T}_{\text{ТО}\Sigma}(t - \Delta t, t) . \quad (4)$$

До кількості відмов боєготовності наземних засобів ЗРС відносять відмови, що визначаються за кількістю доповідей про небоєготовність кожного засобу внаслідок її виникнення і фіксуються у журналах бойового чергування.

До сумарного наробітку проведення технічних обслуговувань за видами входять [182]: щоденні, щотижневі, п'ятиденні та сезонні (річні) технічні обслуговування, витрати наробітку на їх проведення встановлені у відповідній нормативній документації.

Таким чином, визначення середнього коефіцієнта надійності наземного засобу зенітного озброєння у мирний час за інтервал наробітку $(t - \Delta t, t)$ може бути проведено за наступною методикою:

1) визначається залишок наробітку ($\Delta t_{\text{з.н}}$) без запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено, таким чином

$$\Delta t_{\text{з.н}} = \Delta t - \hat{T}_{\text{ТО}\Sigma}(t - \Delta t, t) ; \quad (5)$$

2) розраховується сума середніх значень наробітків безвідмовної роботи і відновлень:

$$\hat{T}_{\text{О}}(t - \Delta t, t) + \hat{T}_{\text{В}}(t - \Delta t, t) = \frac{\Delta t_{\text{з.н}}}{n_{\text{О}}(t - \Delta t, t)} ; \quad (6)$$

3) середній наробіток відновлення $T_{\text{В}}(t - \Delta t, t)$ встановлюється за результатами досвіду експлуатації та рівня підготовленості обслуговуючого персоналу. До того ж з досвіду встановлено, що середній наробіток на пошук

причини відмови та подальшого настроювання засобу ЗРС зазвичай не перевищує одну годину, а тому його можна визначити через кількість відмов боєготовності $n_{\text{б}}(t - \Delta t, t)$:

$$\hat{T}_{\text{в}\Sigma}(t - \Delta t, t) = n_{\text{б}}(t - \Delta t, t) \times 1 \text{ год.}; \quad (7)$$

4) за отриманими даними про середній наробіток відновлення $T_{\text{в}}(t - \Delta t, t)$ встановлюється середній наробіток між відмовами боєготовності:

$$\hat{T}_{\text{б}}(t - \Delta t, t) = \frac{\Delta t_{\text{з.н}}}{n_{\text{б}}(t - \Delta t, t)} - \hat{T}_{\text{в}}(t - \Delta t, t); \quad (8)$$

5) розраховується середній параметр потоку відмов на етапі бойового функціонування:

$$\bar{\omega}_{\text{н}}(t) = \bar{\omega}_{\text{н}}(t - \Delta t, t) = \frac{1}{\hat{T}_{\text{б}}(t - \Delta t, t)}; \quad (9)$$

б) вимоги до наробітку безперервного бойового використання $t_{\text{б.в}}$, в межах якого недопустимо виникнення відмови засобу ЗРС, визначаються максимальною тривалістю занять зі спеціальної підготовки та зазвичай становить $t_{\text{б.в}} = 40\text{-}50$ хвилин.

7) для умов мирного часу середній за наробіток $(t - \Delta t, t)$ коефіцієнт боєготовності наземних засобів ЗРС можна розрахувати за наступною формулою

$$\bar{K}_{\text{б.г.ЗРС}}(t, t + t_{\text{б.в}}) = \frac{\hat{T}_{\text{б}t}}{\hat{T}_{\text{б}t} + \hat{T}_{\text{в}t}} e^{-\int_t^{t+t_{\text{б.в}}} \bar{\omega}_{\text{н}}(\tau) d\tau} = \frac{\hat{T}_{\text{б}t}}{\hat{T}_{\text{б}t} + \hat{T}_{\text{в}t}} \left(1 - \frac{t_{\text{б.в}}}{\hat{T}_{\text{б}t}} \right). \quad (10)$$

Перейдемо до визначення коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння для воєнного часу.

Для цього проведемо статистичні оцінки середнього наробітку між відмовами боєготовності та середнього наробітку при простою за оцінюваний наробіток $(t - \Delta t, t)$.

Для розрахунку коефіцієнта боєготовності за наробіток $(t - \Delta t, t)$ використаємо дані приладів годин наробітку під струмом шафів (блоків) апаратури. У цей загальний сумарний наробіток $(t - \Delta t, t)$ входять: сумарний наробіток перебування засобу у боєготовності $\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t)$ та сумарний наробіток простою. Окрім того встановимо кількість відмов і засобів $n_6(t - \Delta t, t)$. Кількість відмов визначається за кількістю доповідей про небоєготовність кожного засобу внаслідок втрати працездатності, що фіксуються у журналах бойової роботи (журналах бойового чергування). З цих журналів також можуть бути отримані дані про втрати часу на простої ($t_{\text{пi}}$), як інтервали між доповідями про небоєготовність та про відновлення боєготовності.

Таким чином, визначення за наробіток $(t - \Delta t, t)$ середнього коефіцієнта боєготовності засобу зенітної ракетної системи для умов воєнного часу може бути проведено за *наступною методикою*:

1. Визначається сумарний наробіток $\hat{T}_{\text{ТО}\Sigma}(t - \Delta t, t)$, витрачений на проведення технічних обслуговувань малої періодичності за встановленими в [178] видами. Витрати часу на їх проведення встановлені у відповідній нормативній документації, а час приведення у боєготовність засобу ЗРС на будь-якому етапі виконання технічного обслуговування не перевищує 5-6 хвилин.

2. Розраховується сумарний наробіток безвідмовної роботи і простоїв:

$$\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t) + \hat{T}_{\text{п}\Sigma}(t - \Delta t, t). \quad (11)$$

3. Сумарний наробіток при простоях $\hat{T}_{\text{п}\Sigma}(t - \Delta t, t)$ розраховується за формулою

$$\hat{T}_{\text{п}\Sigma}(t - \Delta t, t) = \sum_{i=1}^{n_6(t-\Delta t, t)} t_{\text{пi}}. \quad (12)$$

4. Розраховується сумарний наробіток перебування засобу ЗРС у стані боєготовності:

$$\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t) = \Delta t - \hat{T}_{\text{п}\Sigma}(t - \Delta t, t). \quad (13)$$

5. Розраховується середній параметр потоку відмов:

$$\bar{\omega}_H(t - \Delta t, t) = \frac{n_6(t - \Delta t, t)}{T_{6\Sigma}(t - \Delta t, t)}. \quad (14)$$

6. Необхідний для розрахунків наробіток безвідмовного бойового використання $t_{6.в}$ визначається максимальною тривалістю ведення протиповітряного бою протягом трьох послідовних ударів засобів повітряного нападу з загальною тривалістю до $t_{6.в} = 120$ хвилин або з досвіду ведення бойових дій.

7. Для умов воєнного часу коефіцієнт боєготовності наземних засобів ЗРС можна розрахувати за формулами (7)–(10), звідки:

$$K_{6.г.н}(t, t + t_{6.в}) = \frac{\hat{T}_{6\Sigma}(t)}{\hat{T}_{6\Sigma}(t) + \hat{T}_{п\Sigma}(t)} \exp \left\{ - \int_t^{t+t_{6.в}} \bar{\omega}_H(\tau) dt \right\}. \quad (15)$$

З [179] та [181], відомо, що зенітні керовані ракети (ЗКР) належать до класу не відновлюваних об'єктів в умовах експлуатації в зенітних ракетних підрозділах. Ракети у військову частину надходять боєкомплектами з практично однаковою (близькою) датою виготовлення.

Виходячи з того, що коефіцієнт боєготовності ракет при проведенні бойових стрільб $K_{6.г.р}(t, t + t_{о.ц})$ визначається імовірністю того, що у визначений наробіток від початку експлуатації t ракета, яка знаходиться у режимі підготовки до пуску буде працездатною $P_p(t)$ і надалі безвідмовно профункціонує в процесі обстрілу цілі (пуску, наведення та підриву бойової частини) $P_{р.о.ц}(t, t + t_{о.ц})$ можна визначити аналогічно через добуток:

$$K_{6.г.р}(t, t + t_{о.ц}) = P_p(t) P_{р.о.ц}(t, t + t_{о.ц}). \quad (16)$$

Імовірність безвідмовної роботи (справності) ракет одного j -го боєкомплекту на наробіток бортової апаратури, (за даними бортових сумок ракет) t від початку експлуатації кожної можливо оцінити за статистичними даними:

$$\hat{P}_{p.j}(t) = N_{p.j}(t) / N_{p.j}, \quad (17)$$

де $N_{p.j}(t)$ – кількість справних ракет у j -му боєкомплекті на наробіток t ;

$N_{p.j}$ – загальна кількість ракет у j -му боєкомплекті.

Імовірність безвідмовного функціонування ракети j -го боєкомплекту в процесі обстрілу цілі (пуску, наведення та підриву бойової частини)

$P_{p.o.ц}(t, t + t_{o.ц})$ можливо визначити наступним чином

$$P_{p.j}(t, t + t_{o.ц}) = \exp \left\{ - \int_t^{t+t_{o.ц}} \lambda_{p.o.ц.j}(\tau) d\tau \right\}, \quad (18)$$

і при малому $t_{o.ц}$ імовірність безвідмовного обстрілу цілі однією ракетою:

$$\hat{P}_{p.j}(t, t + t_{o.ц}) \approx 1 - \hat{\lambda}_{p.o.ц.j} t_{o.ц}, \quad (19)$$

де $\lambda_{p.o.п}(t)$ – інтенсивність відмов ракет j -го боєкомплекту в процесі обстрілу цілі (пуску, наведення та підриву бойової частини).

Статистична оцінка інтенсивності відмов ракет j -го боєкомплекту в процесі обстрілу цілі є відношення кількості несправних ракет $n_{pj}(t - \Delta t, t)$ до середньої кількості справних ракет за наробіток $(t - \Delta t, t)$ та тривалості інтервалу наробітку і становить

$$\hat{\lambda}_{p.o.o.j}(t) = \frac{n_{pj}(t - \Delta t, t)}{\bar{N}_{pj} \Delta t}, \quad (20)$$

де $\bar{N}_{pj} = \frac{N_{pj}(t - \Delta t) + N_{pj}(t)}{2}$ – середня кількість справних ракет j -го боєкомплекту при їх пусках та наведенні за наробіток $(t - \Delta t, t)$.

Тому коефіцієнт надійності бойового використання ракети j -го боєкомплекту при бойовій стрільбі визначається наступним чином

$$\hat{K}_{б.в.р.j}(t, t + t_{o.ц}) = \hat{P}_{p.j}(t) \hat{P}_{p.o.ц.j}(t, t + t_{o.ц}) \quad (21)$$

і становить

$$\hat{K}_{б.в.р.}(t, t + t_{o.ц}) = \frac{N_{pj}(t)}{N_{pj}} (1 - \hat{\lambda}_{p.o.ц.j} t_{o.ц}). \quad (22)$$

Висновки

Таким чином результатом роботи є розроблена комплексна методика оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет при їх застосуванні в ході проведення бойових стрільб зенітними ракетними підрозділами як при проведенні навчань так і у період ведення бойових дій.

Комплексна методика оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння складається з двох складових частин, а саме для мирного часу та воєнного часу. Оцінка коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння у воєнний час від мирного часу відрізняється тим, що при розрахунках враховано тривалість ведення протиповітряного бою.

Третьою складовою комплексної методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет є саме методика визначення коефіцієнта боєготовності зенітних керованих ракет за результатами бойових стрільб (бойових дій).

Результатом третьої складової даної методики є розрахований коефіцієнт надійності бойового використання ракети j -го боєкомплекту при проведенні бойової стрільби.

Таким чином запропонована методика може бути застосована при проведенні розрахунків бойової ефективності підрозділів і військових частин як при самостійному веденні бойових дій підрозділами ЗРВ так і у складі угруповань ЗРВ. Дану методику можливо застосовувати в ході перевірки бойової готовності частин та підрозділів ЗРВ, а також при плануванні їх бойового застосування в процесі підготовки до ведення бойових дій.

7.2 Метод самоорганізації інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих впливів

7.2.1 Комплексна модель функціонування інформаційних мереж.

В даний час ведеться формування методології теорії інформаційних конфліктів в технічній сфері як закономірного розвитку і синтезу раніше роз'єднаних теорій радіоелектронної боротьби (РЕБ) і інформаційної безпеки.

Необхідно відзначити, що для дослідження процесів антагоністичної взаємодії інформаційних мереж, пов'язаної з порушенням доступності, цілісності і конфіденційності інформації досить давно введено поняття “інформаційний конфлікт” [183].

У переважній кількості робіт з інформаційного конфлікту він розглядається в контексті застосування засобів радіоелектронної протидії з метою порушення функцій інформаційного забезпечення [183-186].

Інформаційний конфлікт в загальному випадку характеризується властивою йому ієрархічною структурою, відповідної різним рівням видобутої (необхідної) інформації, і, відповідно, рівням добування, збирання та узагальнення даних про конфліктуючі сторони. В основі мережевої архітектури сучасних інформаційних мереж покладено семирівневу модель взаємодії відкритих систем OSI (The Open Systems Interconnection model – модель взаємодії відкритих систем), яка передбачає незалежність функцій управління за рівнями [192].

Нижчий фізичний рівень інформаційного конфлікту, є протистояння радіоелектронних систем з цілеспрямованим використанням ними різного роду електромагнітних випромінювань і впливів на фізичну інфраструктуру в інтересах отримання первинної інформації про характеристики та стан основних об'єктів протилежної сторони або / та запобігання можливості отримання такої інформації іншою стороною [183].

Разом з тим як показано в роботах [183-257] в даний час спостерігається відхід інформаційного конфлікту в глобальний телекомунікаційний простір. Наявні роботи [184-197] в частині інформаційного конфлікту в рамках дуелі “інформаційно-управляюча система – система дестабілізуючих впливів”, як правило, розглядають конфлікт на одному рівні функціонування цих систем. При цьому в роботах [183], [185], [189], [196] відзначається, що інформаційний конфлікт носить складний ієрархічний характер і може складатися з безлічі дуельно-ігрових ситуацій на різних рівнях ієрархії.

У роботах [183, 184] представлено розвиток моделі інформаційного конфлікту в напрямку підвищення «багаторівневості» конфлікту та узгодження його з моделлю OSI. Дані роботи пропонують спільно з «класичним» інформаційним конфліктом врахувати нові способи впливу за рахунок декомпозиції інформаційного конфлікту інформаційних мереж на окремі конфліктні ситуації на кожному з рівнів моделі OSI.

Таким чином, запропонований роботах [183, 184] новий концептуальний підхід до моделювання інформаційного конфлікту, з одного боку органічно розвиває існуючі роботи [185], [187], [193] в частині багаторівневого інформаційного конфлікту інформаційних мереж, а з іншого – формалізує конфліктну взаємодію відповідно до рівнів еталонної моделі OSI.

Дана концептуальна модель, є еталонною моделлю взаємодії конфліктуєчих систем CSI (Conflict System Interconnection Reference Model) формалізує об’єкти і загальні підходи до опису локальних інформаційних конфліктів в інформаційних мережах на кожному з рівнів моделі OSI.

Разом з тим, враховуючи великий вклад зазначених робіт у розвиток теорії конфлікту інформаційних мереж та дестабілізуючих факторів залишаються невирішеними наступні питання: опис конфлікту інформаційних мереж та дестабілізуючих факторів обмежено лише одним рівнем (декількома) без опису його зазначеного впливу на інші рівні моделі OSI; не враховується час на збір, обробку та узагальнення інформації для прийняття управлінських рішень

інформаційно-керуючою системою; не враховується апріорна невизначеність про засоби деструктивного впливу; не враховується ступінь зашумленості даних.

Зазначений факт обумовлює актуальність проведеного автором дослідження. Узагальнений вираз математичної моделі інформаційного конфлікту інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих впливів представлений в виразі (1).

$$\forall t \in \{1, \dots, T, \dots\} S_t = \left\{ s_i^{(t)} F_i \left(\left(\varphi_{1,i} \left(s_i^{(t-1)} (X_i, \Pi_i, U_i, A_i, \Omega_i, Y_i, Q_i, N_i, M_i) \right) \right) \cdot \iota_i \right) \cdot \chi_i, i = \overline{1, N}. \quad (1)$$

де S – багатовимірний часовий ряд;

$S_t = (s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, \dots, s_N^{(t)})$ – часовий зріз стану інформаційної мережі

представлений у вигляді багатовимірного часового ряду на t -й момент часу; $s_j^{(t)}$ – значення j -го компонента багатовимірного часового ряду на t -й момент часу; L_j^i – максимальне значення часової затримки i -го компонента відносно j -го; φ_{ij} – оператор для врахування взаємовпливу між i -им та j -им компонентом багатовимірного часового ряду; F_i – перетворення для отримання $s^{(t)}$, $i=1, \dots, N$; N – число компонентів багатовимірного часового ряду; ι – оператор для врахування ступеню інформованості про засоби інформаційного впливу на інформаційну мережу; χ – оператор для врахування ступеню зашумленості даних про стан інформаційної мережі;

З виразу (1) можна зробити висновок, що вираз дозволяє описати процеси в інформаційній мережі з урахуванням запізнь у часі. Затримки необхідні на збір, обробку та узагальнення інформації. Також у виразі (1) враховується ступінь інформованості про засоби інформаційного впливу та зашумленості даних, описуються процеси, що мають як кількісні так і якісні одиниці виміру.

Детально опишемо всі складові виразу (1). Кожен l -ий рівень інформаційної мережі вирішує свої функціональні завдання. При цьому безпосередньо сам рівень утворений сукупністю функціонально-взаємодіючих протоколів $\Pi_l = \bigcup \pi_l$, які функціонують в параметричному просторі середовища

$X_l = R_l \times \chi_l \times V_l$, де $\chi_l = \bigcup \chi_{l,\pi}$, $R_l = \bigcup R_{l,\pi}$, $V_l = \bigcup V_{l,\pi}$. Відповідно кожному рівню притаманні специфічні для нього параметри природного середовища χ_l , ресурси, R_l і впливи V_l . При цьому ефективність функціонування нижніх рівнів безпосередньо визначає ефективність функціонування більш верхніх рівнів.

Інформаційна мережа складається з 7 рівнів, які відповідають моделі OSI, і кожному з рівнів відповідає власна сукупність протоколів. З урахуванням формального опису протоколу, поданого вище, кожен рівень моделі в складі ієрархічної моделі інформаційної мережі буде описуватися наступними параметрами і відображеннями.

1) Вхідні параметри l -ого рівня: множина узагальнених параметрів середовища $X_l = R_l \times \chi_l \times V_l$, де $\chi_l = \bigcup \chi_{l,\pi}$, $R_l = \bigcup R_{l,\pi}$, $V_l = \bigcup V_{l,\pi}$ в якій функціонує множина протоколів $\Pi_l = \bigcup \pi_l$ на l -му рівні, що включають в себе: множина параметрів природного середовища l -го рівня $\chi_l (\chi_l \subseteq \chi)$; множина ресурсів інформаційної мережі l -го рівня $R_l (R_l \subseteq R)$; множина деструктивних впливів V_l , що реалізовані системою деструктивних впливів на l -му рівні і впливаючих на функціонування протоколів $\Pi_l = \bigcup \pi_l$; множина керуючих впливів $U_l = \langle \{U_{l,\pi}\} \times T \rangle (U_l \subseteq U)$ на протоколи Π_l з боку інформаційної мережі на l -му рівні; множина моментів часу функціонування інформаційної мережі T .

2) Перетворення, що визначають загальну динамічну модель l -ого рівня інформаційної мережі: множина алгоритмів A_l протоколів Π_l на l -му рівні інформаційної мережі:

$$A_l = \bigcup_{\Pi_l} A_{l,\pi}; \quad (2)$$

множина параметрів Ω_l алгоритмів A_l протоколів на l -му рівні інформаційної мережі:

$$\Omega_l = \bigcup_{\Pi_l} \Omega_{l,\pi}; \quad (3)$$

вираз ψ_l , що описує зміну станів s_l l -ого рівня інформаційної мережі:

$$s_l = \{s_\pi\} \cup \Theta_l = \Psi_l(t_0, t, \{\pi\}, \{S_\pi\}, X_l, U_l, A_l, \Theta_l), \quad (4)$$

при цьому стан l -ого рівня визначається як об'єднання множини станів всіх протоколів цього рівня $\{s_\pi\}$ і стану функціонально-структурних зв'язків між протоколами Θ_l ;

перетворення f_l , що визначає вихідні показники якості обслуговування Q_l , які забезпечують протоколи Π_l на l -му рівні функціонування:

$$Q_l = f_l(t, s_l, X_l, U_l, A_l). \quad (5)$$

перетворення γ_l , що визначає вихідні параметри Y_l протоколів Π_l на l -му рівні:

$$Y_l = \gamma_l(t, s_l, X_l, U_l, A_l). \quad (6)$$

перетворення ϕ_l , що визначає параметричну множину середовища X_{l+1} функціонування протоколів більш високого рівня Π_l :

$$X_{l+1} = \phi_l(s_\pi, t, X_l, U_l, A_l). \quad (7)$$

3) Вихідні параметри: множина вихідних параметрів l -ого рівня Y_l : множина показників якості обслуговування Q_l , які забезпечуються на l -му рівні функціонування; множина параметрів середовища для функціонування протоколів більш високого рівня X_{l+1} ; канал спостереження $N_l = \bigcup N_{l,\pi} = \langle Y_{l,N} \times Q_{l,N} \rangle$ з боку інформаційної мережі в інтересах прийняття рішень з управління інформаційною мережею; канал спостереження $M_l = \bigcup N_{l,\pi} = \langle Y_{l,M} \times Q_{l,M} \rangle$ з боку системи дестабілізуючих впливів в інтересах прийняття рішень щодо доцільного застосування впливів V_l .

З урахуванням вищевикладеного ієрархічна модель інформаційної мережі як сукупності рівнів моделі OSI буде визначатися наступними параметрами і перетвореннями:

1) Вхідні параметри інформаційної мережі: множина узагальнених параметрів середовища $X = \bigcup X_l$, що включають в себе: множина параметрів

природного середовища $\chi = \bigcup \chi_l$ множина ресурсів інформаційної мережі $R = \bigcup R_l$; множина впливів $V = \bigcup V_l$ реалізованих системою дестабілізуючих впливів на l -их рівнях функціонування; множина управляючих впливів $U = \bigcup U_l$ з боку інформаційної мережі на l -их рівнях функціонування; множина моментів часу функціонування T .

2) Перетворення, що визначають динамічну модель інформаційної мережі: множина алгоритмів A інформаційної мережі:

$$A = \bigcup A_l \quad (8)$$

– множина параметрів Ω алгоритмів A інформаційної мережі:

$$\Omega = \bigcup \Omega_l. \quad (9)$$

– множина протоколів Π інформаційної мережі:

$$\Pi = \bigcup \Pi_l \quad (10)$$

– множина ψ , що задають зміну станів S інформаційної мережі:

$$S = \{S_l\} \bigcup \Theta = \psi(t_0, t, \{S_l\}, X, U, A, Z, E, K, \Lambda, \Theta), \quad (11)$$

де: $Z = \{z_i\}$ – множина елементів інформаційної мережі; $E = \{e_i\}$ – множина каналотворюючих засобів в інформаційній мережі; $K = \{k_{ij}\}$ – множина каналів, що з'єднують вузлові елементи інформаційної мережі;

– множина перетворень f , що визначають вихідні показники якості обслуговування Q інформаційної мережі:

$$Q = f(t, S, X, U, A), f = \bigcup f_l, Q = \bigcup Q_l. \quad (12)$$

– множина перетворень γ , що визначають вихідні параметри Y інформаційної мережі:

$$Y = \gamma(t, S, X, U, A), \gamma = \bigcup \gamma_l, Y = \bigcup Y_l. \quad (13)$$

– множина перетворень ϕ , що визначають між ієрархічні зв'язки між рівнями інформаційної мережі:

$$\phi = \bigcup \phi_l. \quad (14)$$

Фактично множина перетворень ϕ визначає відмінність даної моделі від класичної моделі OSI, яка в явному вигляді не задає міжрівневих взаємозв'язків.

3) Вихідні параметри: множина вихідних параметрів інформаційної мережі Y ; кінцеві вихідні параметри інформаційної мережі Y_7 ; множина показників якості обслуговування Q інформаційної мережі; канал спостереження $N = \bigcup N_i = \langle Y_N \times Q_N \rangle$ з боку інформаційної мережі в інтересах прийняття рішень з управління інформаційною мережею; канал спостереження $M = \bigcup M_i = \langle Y_M \times Q_M \rangle$ з боку системи дестабілізуючих впливів в інтересах прийняття рішень щодо застосування багаторівневих впливів V .

У загальному випадку процеси функціонування інформаційної мережі задаються перетвореннями (10)–(14). Основу інформаційної мережі складає просторово-розподілена транспортна мережа, стан елементів якої і визначає стан S інформаційної мережі в цілому:

$$S = \psi(t_0, t, \{S_i\}, X, U, A, Z, E, K, \Lambda, \Theta), \quad (15)$$

де: $E = \{e_i\}$ – множина каналоутворюючих засобів, встановлених на вузлових елементах інформаційної мережі, при цьому кожен засіб підтримує множину протоколів π_i , тобто $e_i = \langle \{\pi_i\} \rangle$; $Z = \{z_i\}$ – множина вузлових елементів мережі, кожен вузловий елемент містить множину каналоутворюючих засобів e_i , тобто $z_i = \langle \{e_i\}, \{\pi_i\}, \{k_{ij}\} \rangle$; $K = \{k_{ij}\}$ – множина каналів зв'язку, що з'єднують вузлові елементи інформаційної мережі; Λ – матриця розподілу інформаційних потоків між абонентами і вузловими елементами інформаційної мережі (матриця тяжіння).

Параметри $Z \times K$ фактично задають граф інформаційної мережі, а окремі дії $V_{l,\pi}$ за рахунок порушення функціонування або блокування протоколів, використовуваних як в каналі зв'язку $k_{ij} = \langle z_i, z_j, e_i, e_j, \pi_{l,k} \rangle$, так і в вузлі $z_i = \langle \{e_i\}, \{\pi_i\}, \{k_{ij}\} \rangle$, призводять до зміни топології.

Процес функціонування інформаційної мережі визначається перетворенням $\gamma: \langle t, S, X, U, A \rangle \rightarrow Y$, що задається виразом (13).

У процесі функціонування інформаційної мережі проводиться доставка повідомлень Y_7 з показниками якості Q , що відповідають цільовим призначенням інформаційної мережі в залежності від її поточного стану S і множини вхідних впливів X і управління U .

Якість виконання функцій за цільовим призначенням інформаційної мережі визначається показниками Q , які залежать від множини використовуваних протоколів Π , що функціонують відповідно до алгоритмів A і їх параметрами Ω , а також залежать від параметрів середовища $X = R \times \chi \times V$.

Інформаційна мережа функціонує ефективно в разі якщо її показники якості верхнього (прикладного) рівня Q_7 , одержувані в результаті згортки $Q_1 \rightarrow Q_2 \rightarrow \dots \rightarrow Q_i \rightarrow \dots \rightarrow Q_7$, мають значення не нижче необхідного, тобто виконується критерій:

$$\forall \{q_7 \geq q_7^{необ}\} \in Q_7. \quad (16)$$

При цьому особливе значення мають чотири нижніх рівня: фізичний, каналний, мережевий і транспортний, які відповідають телекомунікаційному обладнанню інформаційної мережі і більшою мірою уразливі для навмисних впливів. Тому в якості окремого випадку можна розглядати інформаційну мережу як просторово-розподілену транспортну мережу обмежену чотирма нижніми рівнями OSI. У цьому випадку критерій (15) може бути представлений у вигляді:

$$\forall \{q_4 \geq q_4^{необ}\} \in Q_4. \quad (17)$$

Розглянемо більш детально інформаційний конфлікт за рівнями впливу:

- а) вплив тільки на фізичному рівні (наприклад, РЕП); б) вплив тільки на мережевому рівні (наприклад, DDOS атаки);
- в) оцінка ефектів від однорівневого впливу на фізичному рівні (наприклад, ефекти від РЕП призводять до втрати достовірності прийому, яку не здатні

виправити протоколи фізичного і каналного рівня, але за рахунок перемаршрутизації на мережевому рівні ефекти від впливу виправляються);

г) різнорівневий комплексний вплив (по аналогії з попереднім випадком, тільки додаткове використання інформаційного впливу на мережевому рівні призводить до нестабільного функціонування протоколів маршрутизації і доставка пакетів неможлива).

При цьому найбільш імовірним сценарієм є використання на нижніх рівнях некритичних динамічних дій ($Q_1(V_1) \gg Q_1^{необ}$), ефект яких відображається на більш верхні рівні ($V_1 \rightarrow X_1 \rightarrow \Pi_1 \rightarrow Y_1 \rightarrow X_2 \rightarrow \Pi_2 \rightarrow \dots$) і переводить інформаційну мережу в гранично стійкий стан.

Як показано в роботі [201], ефективність управління багаторівневої системи, якою є інформаційна мережа, залежить від співвідношень між глобальною і локальними цілями функціонування на кожному з рівнів. У зв'язку з цим може виникнути міжрівнева неузгодженість (конфлікт) між локально прийнятими рішеннями. У загальному випадку в багаторівневій системі виникають два види конфліктів [201]: міжрівневі та внутрішньорівневі.

Як показано вище, інформаційна мережа є ефективною у разі, якщо її показники якості верхнього (прикладного) рівня Q_7 , одержувані в результаті згортки $Q_1 \rightarrow Q_2 \rightarrow \dots \rightarrow Q_i \rightarrow \dots \rightarrow Q_7$, мають значення не нижче необхідного, тобто виконується критерій $\forall \{q_7 \geq q_7^{необ}\} \in Q_7$.

За аналогією введемо поняття ефективних умов функціонування - умов $X_{еф} = \bigcup X_l (X_l = \langle R_l \times \chi_l \times V_l \rangle)$, які при управлінні інформаційною мережею $U = \bigcup U_l$ забезпечують виконання критерію ефективності функціонування $\forall \{q_7 \geq q_7^{необ}\}$. Існування таких ефективних умов визначає ділянки неефективних дій – тобто впливів $V_{нееф} = \bigcup V_l$, які при управлінні $U = \bigcup U_l$ не здатні вивести інформаційну мережу за межі ефективного функціонування, тобто

$Q(U, X_{ef}(V_{неef})) \geq Q^{необ}$. Іншими словами ефективні умови функціонування інформаційної мережі відповідають умові неефективних дій.

В даний час в моделі OSI прийнятий класичний принцип незалежності інформаційної мережі на різних рівнях її функціонування. В основу класичного принципу багаторівневого функціонування відповідно до моделі OSI покладені два положення:

1) Протоколи вищих рівнів Π_l і система управління ними повинні забезпечувати виправлення неефективних вихідних параметрів (вихідних умов) нижчих рівнів $Y_{l-1\ неef} \rightarrow Y_{l\ еf}$:

$$\Phi_l : Y_{l-1\ неef} \xrightarrow{\Pi_l} \begin{cases} X_{l\ еf} \\ X_{l\ неef} \end{cases}, \quad (18)$$

$X_{l\ еf}$ – відповідає випадку коли протоколи Π_l виправляють неефективні умови функціонування попереднього рівня; $X_{l\ неef}$ – коли не виправляють. При цьому $X_{l\ неef} = \bigcup_{\Pi_l} X_{l,\pi\ неef}$, $X_{l\ еf} = \bigcup_{\Pi_l} X_{l,\pi\ еf}$ в підсумку $X_l = X_{l\ еf} \bigcup X_{l\ неef}$.

2) На своєму рівні функціонування протоколи Π_l функціонально незалежні від нижчих рівнів Π_{l-1} і повинні забезпечувати необхідну ефективність функціонування:

$$f_l : \langle t, s_l, X_{l\ еf}, U_l, A_l \rangle \xrightarrow{\Pi_l} Q_l \mid Q_l \geq Q_l^{необ}. \quad (19)$$

Вираз (18) дозволяє сформулювати висновок, який на перший погляд здається логічним, якщо вихідні параметри протоколів нижчого рівня є ефективними, то і умови функціонування протоколу вищого рівня є ефективними:

$$Y_{l-1\ еf} \Rightarrow Y_{l\ еf}, \quad (20)$$

звідки, поширюючи даний висновок на всі рівні інформаційної мережі отримуємо, що ефективні умови l -го рівня є причиною ефективних умов всіх наступних рівнів.

$$X_{1\ еf} \Rightarrow Y_{1\ еf} \Rightarrow \dots \Rightarrow Y_{l-1\ еf} \Rightarrow X_{l\ еf} \Rightarrow \dots \Rightarrow Y_{7\ еf}. \quad (21)$$

Разом з тим, з практики відомо, що існують режими функціонування протоколів, які є неефективними, але при цьому дотримуються умов ефективного функціонування 1-го рівня. Таким чином, наслідок (21) не виконується. Як правило, пояснення наявності таких умов лежить в області незалежності функціональних рівнів інформаційної мережі і, нібито, неможливості формування окремих умов поточного рівня з умов функціонування попереднього рівня.

Для навмисної реалізації вищенаведених умов неефективного функціонування інформаційної мережі можна запропонувати три базових варіанти впливу:

1) Вплив на нижчому рівні V_i , який є неефективним на i -му рівні (тобто не веде до зниження $Q_i < Q_i^{необ}$), але за рахунок впливу $V_i \text{ неэф} \rightarrow X_i \text{ еф} \rightarrow Y_i \text{ еф} \rightarrow \dots \rightarrow X_j \text{ неэф} \rightarrow Y_j \text{ неэф}$ на вищестоящий j -ий рівень інформаційної мережі формує його неефективну середу $X_j \text{ неэф}$, що приводить до критичного падіння якості функціонування цього рівня;

2) Сукупність впливів $V = \bigcup V_i$ на різних рівнях які окремо неефективні, але за рахунок їх впливу на вищі рівні створює неефективні умови середовища $X_j \text{ неэф}$ на вищому j -му рівні

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & V_{i-1} \text{ неэф} & & V_i \text{ неэф} & & \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 X_1 \text{ еф} & \rightarrow & Y_1 \text{ еф} & \rightarrow & \dots & \rightarrow & X_{i-1} \text{ еф} \rightarrow Y_{i-1} \text{ еф} \rightarrow X_i \text{ еф} \rightarrow Y_i \text{ еф} \dots \rightarrow X_j \text{ неэф} \rightarrow Y_j \text{ неэф};
 \end{array}$$

3) Поодинокий вплив V_i або їх сукупність $V = \bigcup V_i$ на різних рівнях, що призводять до виникнення і розвитку внутрішньосистемних конфліктів в інформаційній мережі як усередині окремого рівня, так і між рівнями функціонування.

7.2.2 Метод самоорганізації інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих впливів

Оптимізація є складним процесом визначення множини рішень для різноманітних функції. Багато розрахункових завдань сьогодення належать саме

до завдань оптимізації [183-185]. При вирішенні завдань оптимізації змінні рішення визначаються таким чином, щоб інформаційні мережі працювали в своїй найкращій по визначеному критерію оптимізації точці (режимі).

Проблеми оптимізації інформаційних мереж є розривними, недиференційованими, а також мультимодальними. Таким чином класичні градієнтні детерміновані алгоритми [186-188] для вирішення завдань самоорганізації інформаційних мереж використовувати недоцільно.

Щоб подолати недоліки класичних алгоритмів оптимізації для вирішення проблем самоорганізації інформаційних мереж, була створена значна кількість алгоритмів стохастичної оптимізації, відомих як метаевристичні алгоритми [189-191].

Одним із різновидів алгоритмів стохастичної оптимізації інформаційних мереж є алгоритми ройового інтелекту (ройові алгоритми). Алгоритми ройового інтелекту базуються на русі рою і імітують взаємодію рою та його оточення, щоб покращити знання про навколишнє середовище, наприклад нові джерела їжі. Найвідомішими ройовими алгоритмами є алгоритм оптимізації рою частинок, алгоритм штучної бджолоїної колонії, алгоритм оптимізації мурашиної колонії, алгоритм оптимізації зграї вовків, а також алгоритм зграї горобців [194-200].

Нажаль, більшість згаданих вище базових метаевристичних алгоритмів не в змозі збалансувати дослідження та використання, що призводить до незадовільної продуктивності для реальних завдань самоорганізації інформаційних мереж.

Це спонукає до впровадження різноманітних стратегій для покращення швидкості, збіжності та точності метаевристичних алгоритмів. Один з варіантів підвищення оперативності прийняття рішень з використанням метаевристичних алгоритмів є їх комбінування, тобто додавання базових процедур одного алгоритму в інший.

Враховуючи зазначене, актуальним науковим завданням є розробка методу самоорганізації інформаційних мереж в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів з використанням штучного інтелекту, який б дозволив

підвищити оперативність прийнятих рішень щодо управління параметрами самоорганізації інформаційних мереж з заданою достовірністю.

Проведений аналіз праць [191-204] показав, що спільними недоліками вищезазначених досліджень є: відсутність можливості формування ієрархічної системи показників щодо процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність врахування обчислювальних ресурсів системи, що здійснюють аналіз процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність механізмів корегування системи показників в ході оцінювання процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність врахування типу невизначеності та зашумленості даних про процес самоорганізації інформаційних мереж, що створює відповідні похибки при оцінюванні їх реального стану; відсутність механізмів глибокого навчання баз знань, що характеризують процес самоорганізації інформаційних мереж; велика обчислювальна складність, при проведенні розрахунку процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність врахування обчислювальних (апаратних) ресурсів, доступних в системі, яка проводить оцінку процесу самоорганізації інформаційних мереж; відсутність можливості визначення пріоритетності пошуку рішення, в певному напрямку, щодо стану процесу самоорганізації інформаційних мереж.

Метою дослідження є розробка методу самоорганізації інформаційних мереж в умовах комплексного впливу дестабілізуючих факторів. Це дозволить підвищити оперативність оцінки процесу самоорганізації інформаційних мереж з заданою достовірністю та вироблення послідовних управлінських рішень. Це дасть можливість розробити програмне забезпечення для інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що здійснюють аналіз стану складних динамічних об'єктів.

З метою деталізації процесу самоорганізації інформаційних мереж визначимо параметри, за якими здійснюється самоорганізація по рівням взаємодії відкритих систем (табл. 1).

Таблиця 1 – Орієнтовний взаємозв'язок між параметрами та управляючими змінними за рівнями моделі OSI

| Рівень OSI | Об'єкти управління | Основні параметри оптимізації | Управляючий вплив вузла |
|-------------------|---|---|--|
| Фізичний | Канал в межах зв'язності з сусідніми вузлами | Пропускна здатність, час передачі в каналі, витрати енергії батарей, потужність передачі тощо | Потужність (спрямованість) передачі, вид модуляції, тип корегуючого коду, параметри тощо |
| Канальний | Канали в межах зв'язності з сусідніми вузлами | Пропускна здатність та час передачі в каналі, витрати енергії батарей, обсяг службової інформації тощо | Алгоритми обміну канального рівня: детерміновані, випадкові, гібридні; розміри пакетів та квитанцій |
| Мережевий | Один або декілька маршрутів передачі | Обсяг службової інформації, параметри маршруту (час побудови та існування, кількість, пропускна здатність, час доставки, витрати енергії батарей тощо). | Алгоритми обміну мережевого рівня: табличні, зондові, гібридні, хвильові асиметричні, ієрархічні тощо. Алгоритми управління топологією |
| Транспортний | Інформаційний напрямок зв'язку | Пропускна здатність, час та варіація його передачі в напрямку | Алгоритми управління чергами. Розмір вікна перевантаження, час таймауту тощо |
| Прикладний | Вузол, вузли-сусіди, зона мережі, вся мережа | Пропускна здатність, час та варіація часу передачі, витрати енергії батарей, безпека передачі | Алгоритми (протоколи) інформаційного обміну прикладного рівня, координація та інтелектуалізація за рівнями OSI |

Як видно з таблиці 1, термін самоорганізація інформаційних мереж включає в себе в основному параметри 1–4 рівнів взаємодії відкритих систем. Отже, в даному дослідженні, нами будуть розглянуті саме зазначені рівні взаємодії відкритих систем та основні параметри, які в них використовуються.

Комбінований алгоритм складається з трьох основних дій (процедур): дослідження, експлуатації та перехідні процеси від дослідження до експлуатації. Метод самоорганізації інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих факторів складається з наступної послідовності дій:

Дія 1. Введення вихідних даних. На даному етапі вводяться вихідні дані, що наявні про інформаційну мережу, що самоорганізується.

Дія 2. Виставлення особин комбінованої зграї на площині пошуку.

Всі перелічені особини, а саме яструби та лиски утворюють популяцію комбінованого алгоритму, яку можна змодельовати з математичної точки зору за допомогою матриці відповідно до рівняння. Виставлення особин комбінованого алгоритму здійснюється з урахуванням невизначеності щодо інформаційної мережі, що самоорганізується та проводиться ініціалізація базової моделі її стану [184, 201, 203] (3.1).

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_N \end{bmatrix}_{N \times m} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \times \iota_{1,1} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1,d} \times \iota_{1,d} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1,m} \times \iota_{1,m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{i,1} \times \iota_{i,1} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{i,d} \times \iota_{i,d} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{i,m} \times \iota_{i,m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{N,1} \times \iota_{N,1} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{N,d} \times \iota_{N,d} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{N,m} \times \iota_{N,m} \end{bmatrix}_{N \times m} \quad (22)$$

Основна позиція зграї комбінованого алгоритму ініціалізується на початку виконання алгоритму за допомогою рівняння (23):

$$x_{i,d} = lb_d + r \cdot (ub_d - lb_d), \quad (23)$$

Тут X – популяційна матриця особин комбінованого алгоритму, X_i – i -й член особин комбінованого алгоритму (кандидат рішення), $x_{i,d}$ – d -й вимір у просторі пошуку (змінна рішення), N – кількість особин комбінованого алгоритму, m – кількість змінних рішення, $r \in$ випадковим числом в інтервалі $[182,183]$, lb_d і ub_d нижньою та верхньою межею d -их змінних рішення, відповідно.

Оскільки позиція кожної особини комбінованого алгоритму в просторі рішення завдання представляє варіант вирішення проблеми, значення цільової функції може бути оцінено відповідно для кожної особини комбінованого алгоритму. Відповідно до цього набір оцінених значень для цільової функції можна записати відповідно до рівняння (24):

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_N \end{bmatrix}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} F(X_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F(X_i) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F(X_N) \end{bmatrix}_{N \times 1} . \quad (24)$$

де F – вектор оціненої цільової функції, F_i – оцінена цільова функція на основі i -го члена зграї комбінованого алгоритму.

Оцінені значення цільової функції надають цінну інформацію про якість варіантів рішень, запропонованих членами зграї комбінованої популяції. Найкраще значення, отримане для цільової функції, відповідає найкращому члену зграї комбінованого алгоритму (тобто найкращому можливому рішення), а найгірше значення, отримане для цільової функції, відповідає найгіршому члену зграї комбінованого алгоритму (тобто найгіршому можливому рішення).

Оскільки на кожній ітерації положення зграї особин комбінованого алгоритму у просторі вирішення проблеми оновлюється, найкращий член також повинен оновлюватися на основі порівняння оновлених значень для цільової функції. Наприкінці реалізації алгоритму позиція найкращого члена зграї

комбінованого алгоритму, отримана під час ітерацій алгоритму, представлена як рішення завдання.

Дія 3. Нумерація особин в зграї комбінованого алгоритму, $i, i \in [0, S]$. На даному етапі кожній особині зграї комбінованого алгоритму присвоюється порядковий номер.

Дія 4. Визначення початкової швидкості особин зграї комбінованого алгоритму.

Початкова швидкість v_0 кожної особини комбінованої алгоритму визначається наступним виразом:

$$v_i = (v_1, v_2 \dots v_S), v_i = v_0. \quad (25)$$

У плануванні запропонованого підходу комбінованого алгоритму позиція членів популяції в просторі вирішення проблем оновлюється на основі моделювання стратегії полювання особин комбінованої зграї у дикій природі.

Дія 5. Попереднє оцінювання ділянки пошуку (харчування) особинами комбінованої зграї. Харчування особин комбінованої зграї різноманітне, для зграї яструбів – це їжа тваринного походження, а для зграї лисок – це якраз їжа рослинного походження. вони харчуються зайцями, птахами. Тому доцільно провести сортування якості їжі. Вибір місця харчування здійснюється з урахуванням ступеню зашумленості вихідних даних, що запропонований в роботі [228].

Дія 6. Класифікація джерел їжі для агентів комбінованої зграї.

Місцезнаходження найкращого джерела їжі (тобто мінімальна придатність) вважаються зайці – для агентів-яструбів, дрібна риба – для агентів-лисок (FS_{ht}), локації з наступних трьох джерел їжі дрібні птахи (агенти-яструби), ряска (агенти-лиски) (FS_{at}), а решта вважаються звичайною їжею (FS_{nt}):

$$FS_{ht} = FS(\text{sorte_index}(1)), \quad (26)$$

$$FS_{at}(1:3) = FS(\text{sorte_index}(2:4)), \quad (27)$$

$$FS_{nt}(1:NP-4) = FS(\text{sorte_index}(5: NP)). \quad (28)$$

Дія 7. Сортування найкращих особин зграї комбінованого алгоритму.
Відбір найкращих особин зграї комбінованого алгоритму здійснюється з

використанням удосконаленого генетичного алгоритму, запропонованого в роботі [206]. При пошуку їжі найсильніші особини зграї комбінованого алгоритму із найбільшими розмірами направляє іншу особину з комбінованої зграї в групі шукати їжу. Така пошукова поведінка агентів комбінованої зграї призводить до різних областей сканування простору пошуку, що покращує дослідницьку здатність агентів в глобальному пошуку.

Дії 1–7, 10–15 є загальними для всіх особин комбінованого алгоритму. Решта процедур є унікальними для кожного з алгоритмів ройової оптимізації.

Дія 8. Процедура оптимізації зграї агентів-яструбів.

Дія 8.1 Виконання процедури розвідки алгоритму зграї агентів-яструбів.

Формула для оновлення позиції яструбів на цьому етапі виглядає наступним чином.

$$X(t+1) = \begin{cases} X_{вин}(t) - r_1 \cdot |X_{вин}(t) - 2r_2 X(t)|, q \geq 0.5 \\ (X_{жерт}(t) - X_m(t)) - r_3(LB + r_4(UB - LB)), q < 0.5 \end{cases} \quad (29)$$

де $X(t)$ та $X(t+1)$ представляють вектор позиції агентів-яструбів в поточній і наступній ітераціях. t представляє поточну кількість ітерацій. $X_{жерт}$ – це позиція жертви, яка також вважається оптимальним рішенням. $X_{вин}(t)$ – вектор позиції випадкової особини зі зграї агентів-яструбів в поточній популяції. r_1, r_2, r_3, r_4 і q є випадковими числами між $[0, 1]$. LB та UB – нижня і верхня межі змінних. $X_m(t)$ є середня позицію всіх агентів-яструбів у популяції, яка розраховується наступним чином:

$$X_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(t), \quad (30)$$

де N – чисельність популяції, $X_i(t)$ – вектор поточного положення i -го агента-яструба зі зграї.

8.2 Фаза дослідження для алгоритму зграї агентів-яструбів.

В алгоритмі енергія втечі жертви E змушує алгоритм переключатися між фазами глобального дослідження та локальної експлуатації. Енергія здобичі поступово зменшується протягом процесу втечі, який можна імітувати, як у рівняння (31):

$$E = 2E_0 \left(\frac{T-t}{T} \right), \quad (31)$$

де E_0 – випадкове число між $[1, 1]$, що представляє початковий стан енергії здобичі, T – максимальна кількість ітерацій. Коли $|E| \geq 1$, агент-яструб продовжить пошук місцезнаходження здобичі в цільовій зоні, визначеній як фаза дослідження. У випадку $|E| < 1$, агент-яструб почне полювати на здобич, знайдену на попередньому етапі, і перейде на стадію експлуатації.

На етапі експлуатації існують чотири можливі стратегії, включаючи м'яку облогу, жорстку облогу, м'яку облогу з поступовими швидкими зануреннями та жорстку облогу з поступовими швидкими зануреннями, щоб імітувати процес атаки яструба на свою жертву. r представляє собою ймовірність того, чи зможе жертва уникнути небезпеки до нападу яструба, яка є випадковим числом між $[0,1]$. Якщо $r < 0,5$ означає, що здобич успішно пройшла через небезпечну ситуацію, $r \geq 0.5$ означає випадок невдалої втечі. Різні комбінації r -значення та енергії втечі E відповідають різним стратегіям полювання. Коли $|E| < 0.5$, виконується жорстка облога. В іншому випадку ведеться м'яка облога.

8.3 Виконання стратегії м'яка облога особинами зі зграї агентів-яструбів.

М'яка облога виконується, коли $r \geq 0.5$ і $|E| \geq 0.5$. На цьому етапі положення агента-яструба оновлюється таким чином:

$$X(t+1) = \Delta X(t) - E |JX_{жертв}(t) - X(t)|, \quad (32)$$

$$\Delta X(t) = X_{жертв}(t) - X(t), \quad (33)$$

$$J = 2(1 - r_5), \quad (34)$$

де $\Delta X(t)$ – відстань між позицією агента-яструба та жертвою. r_5 – це випадкове число між $[0, 1]$, J – випадкова інтенсивність стрибка здобичі.

8.4 Виконання стратегії жорсткої облоги агентами-яструбами.

Агент-яструб візьме жорстку облогу, коли $r \geq 0.5$ і $|E| < 0.5$.

Математичний опис такої поведінки можна представити наступним чином:

$$X(t+1) = X_{жертв}(t) - E |\Delta X(t)|. \quad (35)$$

8.5 Виконання стратегії м'якої облоги з поступовими швидкими зануреннями для зграї агентів-яструбів.

Коли $r < 0,5$ і $|E| \geq 0,5$, агент-яструб візьме м'яку облогу з поступовими швидкими зануреннями. Політ Леві інтегровано в процедуру пошуку алгоритму зграї яструбів, а математична модель описаної вище поведінки така:

$$Y = X_{\text{жерт}}(t) - E |JX_{\text{жерт}}(t) - X(t)|, \quad (36)$$

$$Z = Y + S \times LF(D), \quad (37)$$

$$X(t+1) \begin{cases} Y, \text{ якщо } F(Y) < F(X(t)) \\ Z, \text{ якщо } F(Z) < F(X(t)) \end{cases}, \quad (38)$$

де D – розмірність проблеми, S – випадковий вектор, розмір якого дорівнює $1 \times D$, $F(\cdot)$ – цільова функція.

Лише краща позиція між Y і Z вибирається наступною позицією. $LF(\cdot)$ – функція польоту Леві, яка обчислюється наступним чином:

$$LF(x) = 0.01 \times \frac{u \times \sigma}{|v|^{\frac{1}{\beta}}}, \quad (39)$$

$$\sigma = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma(1+\beta) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{1/\beta},$$

де u і v – два випадкових числа між $[0, 1]$, β – константа з фіксованим значення 1,5, $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функція.

8.5 Виконання стратегії жорсткої облоги агентів-яструбів з поступовими швидкими зануреннями

Коли $r < 0,5$ і $|E| < 0,5$, агент-яструб виконає жорстку облогу, щоб наблизитися до здобичі, а потім здійснить раптовий напад. Математична модель цієї поведінки записується наступним чином:

$$Y = X_{\text{жерт}}(t) - E |JX_{\text{жерт}}(t) - X_m(t)|, \quad (40)$$

$$Z = Y + S \times LF(D), \quad (41)$$

$$X(t+1) \begin{cases} Y, \text{ якщо } F(Y) < F(X(t)) \\ Z, \text{ якщо } F(Z) < F(X(t)) \end{cases}, \quad (42)$$

де $X_m(t)$ обчислюється за допомогою рівняння (30). Лише краща позиція між Y та Z вибирається як наступна позиція.

Дія 9. Виконання алгоритму оптимізації зграї лиски.

Оптимізація зграї пташок лиски – це техніка оптимізації, заснована на популяції та без градієнтів, що імітує колективну поведінку американської лиски (невеликого водяного птаха) на поверхні води. У даному алгоритмі реалізовано чотири різні нерегулярні та регулярні рухи: випадковий рух, ланцюговий рух, коригування позиції на основі лідерів групи та рух лідера.

Зазвичай лиски живуть групою і створюють структуру ланцюга, щоб рухатися до цільової зони (їжі). Попереду групи є кілька лисок, також відомих як лідери групи, які направляють напрямок і беруть на себе відповідальність за всю зграю. Тому, відповідно до звичок лиски, вихідна популяція ділиться на дві частини: лиска-вожак і лиска-послідовниця. Якщо N є розміром популяції, то кількість лідерів лиски розраховується як відсоток від загальної популяції, що дорівнює L , а інші члени $(N - L)$ вважаються послідовниками лиски. Відзначається, що всі лідери вибираються з популяції випадковим чином. Потім виконуються згадані чотири рухи.

9.1 Випадковий рух агентів-лисок.

На цьому етапі випадкова позиція Q визначається за допомогою рівняння (43). Послідовники-лиски переміщуються до цієї випадкової позиції, щоб досліджувати різні частини домену пошуку.

$$Q = \text{rand}(1, D) \cdot (UB - LB) + LB, \quad (43)$$

де D – розмірність проблеми, LB і UB – нижня і верхня межі змінних. Випадковий рух дає алгоритму кращу ефективність глобального пошуку та посилює здатність алгоритму виходити з локального оптимуму. Нова позиція лиски оновлена таким чином:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + A \times r_6 \times (Q - X_i(t)), \quad (44)$$

де $X_i(t+1)$ – позиція i -го послідовника в наступній ітерації t , r_6 – випадкове число в діапазоні $[0, 1]$, а параметр A обчислюється відповідно до зрівняння (45):

$$A = 1 - \frac{t}{T}, \quad (45)$$

де t – кількість поточних ітерацій, а T – максимальна кількість ітерацій.

9.2 Ланцюговий рух агентів-лисок.

В алгоритмі зграї агентів-лисок для виконання ланцюжкових рухів використовується середнє положення двох осіб. Нова позиція лиски-послідовника обчислюється наступним чином:

$$X_i(t+1) = \frac{1}{2} \times (X_{i-1}(t) + X_i(t)), \quad (46)$$

де $X_{i-1}(t)$ – позиція $(i-1)$ -го послідовника агента-лиски в поточній ітерації t .

9.3 Налаштування позиції на основі лідерів груп.

Як правило, усю групу очолює хтось із лідерів групи, які стоять попереду, а всі лиски, що залишаються, повинні змінити свою позицію на основі лідерів і рухатися до них. Однак серйозна проблема, яку необхідно вирішити, полягає в тому, що кожна лиска повинна оновлювати свою позицію відповідно до лідера, з використанням рівняння (47), призначене для вибору лідера наступним чином:

$$k = 1 + (i \bmod L), \quad (47)$$

де i – індекс поточного послідовника, L – кількість лідерів, а k – індексний номер лідера.

Наступна позиція послідовника-лиски на основі вибраного лідера k обчислюється за допомогою рівняння (48).

$$X_i(t+1) = LeaderX_k(t) + 2 \times r_7 \times \cos(2R\pi) \times (LeaderX_k(t) - X_i(t)), \quad (48)$$

де $LeaderX_k(t)$ – позиція обраного лідера, r_7 – випадкове число в інтервалі $[0, 1]$, а R позначає випадкове число в інтервалі $[-1, 1]$.

9.4 Лідерський рух агентів-лисок

Група повинна бути орієнтована на оптимальну територію, тому в деяких випадках лідерам доводиться залишати поточну оптимальну позицію в пошуках кращої. Формула оновлення позиції лідера записується наступним чином:

$$\begin{aligned} \text{Leader}X_i(t+1) &= \\ &= \begin{cases} B \times r_8 \times \cos(2R\pi) \times (gBest(t) - \text{Leader}X_i(t)) + gBest(t), r_9 < 0.5, \\ B \times r_8 \times \cos(2R\pi) \times (gBest(t) - \text{Leader}X_i(t)) - gBest(t), r_9 \geq 0.5 \end{cases} \end{aligned} \quad (49)$$

В рівнянні (49), $gBest$ – поточна оптимальна позиція, r_8 і r_9 – випадкові числа в інтервалі $[0, 1]$, а R – випадкове число в інтервалі $[1, 1]$. В r_8 генерує більш значний стохастичний рух, щоб допомогти алгоритму усунути локальні оптимальні рішення. А $\cos(2R\pi)$ призначений для пошуку найкращої особи з різним радіусом для отримання вищої позиції. Значення B розраховується за допомогою рівняння (50).

$$B = 2 - t \times \left(\frac{1}{T} \right), \quad (50)$$

де t – кількість поточних ітерацій, а T – максимум ітерацій.

Дія 10. Об'єднання окремих алгоритмів оптимізації в змішаний.

Для об'єднання різнотипних алгоритмів природної оптимізації використовується стратегія ансамблевої мутації, яка може генерувати різноманітних індивідуумів для покращення можливостей глобального пошуку гібридного алгоритму, яка записується наступним чином:

$$V_{i1} = \begin{cases} X_{R1} + F_1 \times (X_{R2} - X_{R3}), r_{10} < C_1 \\ X_i, r_{10} \geq C_1 \end{cases}, \quad (51)$$

$$V_{i2} = \begin{cases} X_{R4} + F_2 \times (X_{R5} - X_{R6}) + F_2 \times (X_{R7} - X_{R8}), r_{11} < C_2 \\ X_i, r_{11} \geq C_2 \end{cases}, \quad (52)$$

$$V_{i3} = \begin{cases} X_i + F_3 \times (X_{R9} - X_i) + F_3 \times (X_{R10} - X_{R11}), r_{12} < C_3 \\ X_i, r_{12} \geq C_3 \end{cases}, \quad (53)$$

де V_{i1} , V_{i2} і V_{i3} – щойно згенеровані мутантні позиції i -го агента пошуку. $R_1 \square R_{11}$ – різні цілі показники в діапазоні $[1, N]$. F_1 , F_2 і F_3 – масштабні коефіцієнти зі значеннями 1,0, 0,8 і 1,0 відповідно, $r_{10} \square r_{12}$ – випадкові числа в діапазоні $[0,1]$.

Крім того, параметри C_1 , C_2 і C_3 дорівнюють 0,1, 0,2 і 0,9, що позначає швидкість кросинговеру.

Після створення мутантних позицій-кандидатів V_{i1} , V_{i2} і V_{i3} буде вибрано найкращу позицію V_i з найнижчим значенням придатності для порівняння з придатністю вихідної посади X_i , а потім кращу позицію буде збережено як нову X_i для взяти участь у наступному ітераційному обчисленні. Ці процеси можна описати за допомогою рівняння (54).

$$X_i = \begin{cases} V_i, & \text{якщо } F(V_i) < F(X_i) \\ X_i, & \text{інакше} \end{cases}, \quad (54)$$

де $F(\cdot)$ – функція витрат.

Дія 11. Перевірка наявності хижака агентів комбінованої зграї. На даному етапі агенти перевіряють наявність хижаків. При наявності хижаків перехід до дії 12. При відсутності хижаків перехід до дії 11.

Дія 12. Втеча та боротьба з хижаками агентів комбінованої зграї. Стратегія втечі та боротьби з цими хижаками призводить до зміни позиції агентів комбінованого алгоритму поблизу позиції, на якій вони знаходяться. Симуляція цієї природної поведінки агентів комбінованого алгоритму покращує потужність використання комбінованого алгоритму в локальному пошуку в просторі вирішення проблем навколо потенційних рішень. Оскільки цей процес відбувається поблизу положення кожного агента комбінованої зграї, передбачається, що цей діапазон зміни положення агентів відбувається у відповідній зоні з центром на кожного агента комбінованої зграї з певним радіусом. На початкових ітераціях алгоритму пріоритет надається глобальному пошуку для виявлення оптимальної області в просторі пошуку, радіус цього оточення вважається змінним. Спочатку встановлюється найвище значення, а потім стає меншим під час ітерацій алгоритму. З цієї причини локальні нижні/верхні межі були використані для створення змінного радіуса з повторенням алгоритму. Для моделювання цього явища передбачається околиця навколо кожного агента комбінованої зграї, який спочатку випадково генерує нову позицію в цій околиці за допомогою (55) і (56). Тоді, якщо значення цільової

функції покращується, ця нова позиція замінює попередню позицію відповідно до (57):

$$x_{i,j}^{P_3} = x_{i,j} + \left(lb_{local,j}^t + \left(ub_{local,j}^t - rand \cdot lb_{local,j}^t \right) \right), \quad (55)$$

$$Local \ bounds: \begin{cases} lb_{local,j}^t = \frac{lb_j}{t}, \\ ub_{local,j}^t = \frac{ub_j}{t}, \end{cases} \quad (56)$$

$$X_i = \begin{cases} X_i^{P_3}, F_i^{P_3} \langle F_i; \\ X_i, else, \end{cases} \quad (57)$$

де $X_i^{P_3}$ – нова згенерована позиція i -го агента комбінованої зграї, $x_{i,j}^{P_3}$ – j -й розмір агента комбінованої зграї, $F_i^{P_3}$ – значення цільової функції, t – ітераційний контур, lb_j та ub_j – нижня та верхня межі j -ї змінної. $lb_{local,j}^t$ та $ub_{local,j}^t$ – локальна нижня та локальна верхня межі, допустимими для j -ї змінної, відповідно, для імітації локального пошуку в околицях кандидатських рішень.

Дія 13. Перевірка критерію зупинки. Алгоритм завершується, якщо виконано максимальну кількість ітерацій. В іншому випадку поведінка генерації нових місць і перевірки умов повторюється.

Дія 14. Навчання баз знань агентів комбінованої зграї.

В зазначеному дослідженні для навчання баз знань кожного агента комбінованої зграї використовується розроблений у дослідженні [184] метод навчання на основі штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Метод використовується для зміни характеру пересування кожного агента комбінованої зграї, для більш точних результатів аналізу в подальшому.

Дія 15. Визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів, інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

З метою недопущення зациклювання обчислювань на діях 1–14 даної методики, та підвищення оперативності обчислювань додатково визначається завантаженість системи. При перевищенні визначеного порогу обчислювальної

складності визначається кількість програмно-апаратних ресурсів які необхідно додатково залучити, за допомогою методу, запропонованого в роботі [213].

Висновки

1. В ході дослідження запропоновано математичну модель інформаційного інформаційної мережі.

Переваги зазначеної моделі обумовлені врахуванням більшої кількості дестабілізуючих факторів, у порівнянні з відомими. Модель враховує у комплексі навмисні завади адитивного та мультиплікативного характеру, дестабілізуючі фактори, що обумовлені наявністю кібератак.

Недоліками запропонованої математичної моделі слід вважати більшу обчислювальну складність у порівнянні з більш простими математичними моделями. Модель інформаційного конфлікту інформаційної мережі може бути використана для розробки нових стратегій управління інформаційними мережами з урахуванням протидії комплексному впливу засобів радіоелектронного придушення та засобів інформаційно-технічного впливу. Також модель може бути використана для обґрунтування нових видів впливів, що реалізують приховане функціональне придушення інформаційної мережі за рахунок створення і розвитку внутрішньосистемних суперечностей між її окремими протоколами.

2. В дослідженні запропонований метод самоорганізації інформаційних мереж спеціального призначення, який завдяки додатковим та удосконаленим процедурам що дозволяє: враховується тип невизначеності та зашумленості даних; реалізувати адаптивні стратегії пошуку джерел харчування; об'єднати окремі ройові стратегії пошуку в єдину стратегію; врахувати присутність хижака при виборі джерел харчування; врахувати наявні обчислювальні ресурси системи при здійсненні самоорганізації інформаційних мереж; здійснити зміну площі пошуку окремими агентами зграї комбінованого алгоритму; змінювати швидкість руху агентів зграї комбінованого алгоритму; врахувати пріоритетність пошуку агентів зграї комбінованого алгоритму; провести

початкове виставлення особин зграї комбінованого алгоритму з урахуванням типу невизначеності; провести точне навчання особин зграї комбінованого алгоритму; провести визначення найкращих особин зграї комбінованого алгоритму за допомогою удосконаленого генетичного алгоритму; провести локальний та глобальний пошук з урахуванням ступеню зашумленості даних в процесі самоорганізації інформаційних мереж; провести навчання баз знань, що здійснюється шляхом навчання синаптичних ваг штучної нейронної мережі, типу та параметрів функції належності, а також архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому; застосовувати як універсальний інструмент вирішення завдання самоорганізації інформаційних мереж за рахунок ієрархічності опису їх процесу самоорганізації; перевірити адекватність отриманих результатів; уникнути проблеми локального екстремуму; провести налаштування процедур локального та глобального пошуку, що дозволяє здійснювати адаптацію даного методу під різні інформаційні мережі.

3. Проведено моделювання роботи зазначеного методу на прикладі самоорганізації інформаційної мережі оперативного угруповання військ (сил). Зазначений приклад показав підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 12–17 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур додавання корегувальних коефіцієнтів щодо невизначеності та зашумленості даних, відбору агентів комбінованої зграї, схрещування різнотипних підходів ройової оптимізації, а також навчання агентів комбінованої зграї

7.3 Програмний комплекс для системи підвищення безпеки руху транспортних засобів

На дорогах світу через автомобільні аварії щороку гине близько мільйона осіб і ще близько 50 мільйонів людей одержують травми. Таку статистику в [258] дає Організація економічного співробітництва і розвитку (скор. ОЕСР, англ. Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD). Причому, такий рівень дорожнього травматизму дуже дорого обходиться економіці будь-якої країни, поглинаючи від 1 до 3% ВВП.

В Україні ситуація з аварійністю автотранспортних засобів теж важка. У 2017 році прем'єр-міністр В. Гройсман оголосив: "За даними Світового банку, збитки економіки через ДТП на дорогах України складають 1,5-2,5% ВВП. Ми втрачаємо 4,5 млрд доларів від транспортних пригод в рік. Питання безпеки дорожнього руху в Україні ніколи раніше, на жаль, не вирішувалися системно" [259].

Дорожньо-транспортний травматизм є основною причиною смертності та інвалідності і особливо вражає людей молодого та працездатного віку. Лікування жертв дорожньо-транспортних пригод накладає великий тягар на службу охорони здоров'я та соціального захисту України. Але найголовніше – це людські життя і горе безлічі сімей, що оцінити в гривнях або доларах неможливо.

"На жаль, в Україні рівень смертності і травматизму в результаті ДТП є одним з найвищих в європейському регіоні. За останні шість років було зареєстровано близько 170 000 ДТП з потерпілими, в яких загинули 26 500 і травмовано 209 000 громадян", – зазначив А. Гаврилюк, заступник директора медичного департаменту, начальник Управління медичної допомоги дорослим МОЗ України [260].

"З початку цього року зареєстровані 54 500 ДТП. Це на 12,1% більше, в порівнянні з минулим роком. Кожна восьма автопригода – з постраждалими: 723 людини загинули, понад 8000 травмовані. Удвічі збільшилася кількість ДТП за

участю водіїв громадського транспорту", – повідомив І. Прохоренко [260], заступник начальника Департаменту превентивної діяльності, начальник Управління безпеки дорожнього руху.

Глобальність зазначеної вище проблеми обумовлює і глобальний рівень зусиль щодо її вирішення. Цим займаються і громадські організації, і національні уряди, і найбільші міжнародні структури.

У систему ОЕСР входить Міжнародний транспортний форум, який є глобальною платформою для розробників політики в транспортній сфері.

Україна входить до складу держав-членів цього органу. У 2004 році ОЕСР і Транспортний форум створили Центр транспортних досліджень, фахівці якого разом з фахівцями Світового банку, Всесвітньої організації охорони здоров'я і FIA (Міжнародної автомобільної федерації) в 2008 році за підсумками трирічної спільної роботи випустили доповідь "Прагнення до нуля: високі задачі і системний підхід до безпеки руху " [258].

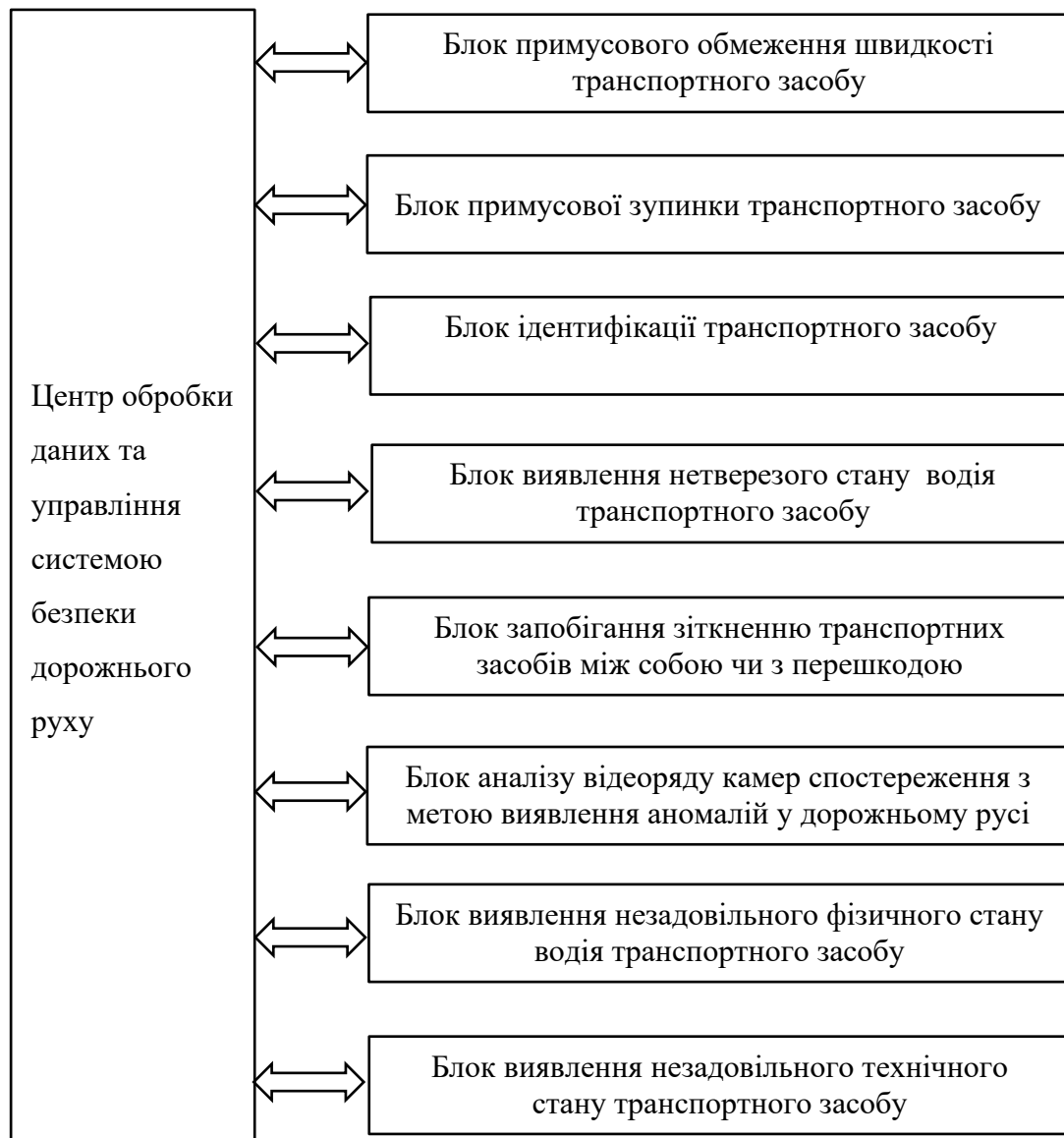
Дана 300-сторінкова робота є квінтесенцією найцікавіших досліджень, аналізу, рекомендацій і прогнозів для транспортної політики, які варто вивчати окремо, особливо в транспортному вузі. Ми зупинимося на одному найважливішому аспекті цього дослідження.

Зібравши і вивчивши дані про рівні дорожньої безпеки, сучасні стратегії останньої, про витрати, пов'язані з дорожньою аварійністю і витрати на підвищення дорожньої безпеки, експерти зробили висновок [258], що рівень безпеки дорожнього руху можна підвищити в короткостроковій перспективі за рахунок впровадження арсеналу наступних заходів:

- 1) примусове дотримання існуючих обмежень швидкості;
- 2) скорочення водіння в нетверезому вигляді;
- 3) використання ременів безпеки;
- 4) більш безпечні дороги і узбіччя;
- 5) підвищення безпеки транспортних засобів;
- 6) зниження ризиків для водіїв-початківців.

Для вирішення поставлених вище проблем нами запропонована система для забезпечення безпеки дорожнього руху (СБДР) [261].

Ця система складається з окремих частин (мал. 1), кожна з яких може діяти самостійно, але позитивний ефект від впровадження системи СБДР при взаємодії цих частин значно підсилюється за рахунок обміну інформацією щодо дорожнього руху в рамках єдиного програмного комплексу



Малюнок 1. Функціональна схема системи безпеки дорожнього руху

Система безпеки руху, що наведена на мал. 1, може бути реалізована на будь-якому рівні транспортних систем, починаючи з самих простих. До неї можуть бути додані додаткові блоки, наприклад, блок аналізу технічного стану

транспортного засобу. Кожен блок є результатом взаємодії програмного забезпечення та мікропроцесорної апаратної частини як індивідуальних, тобто встановлених на транспортному засобі, так і загальних, тобто реалізованих на серверному рівні.

Система БДР зараз існує у вигляді програмного комплексу, що керує взаємодією окремих блоків, а от окремі частини системи мають закінчений вигляд і реалізовані на основі мікропроцесорної техніки. Концепція роботи блоку примусового обмеження швидкості транспортного засобу запропонована автором даного дослідження і базується на застосуванні інформаційних технологій.

Спосіб дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля [262] працює наступним чином. Звичайний GSM-приймач (можливо, інший радіоприймальний пристрій) постійно отримує сигнал, який несе значення припустимої швидкості для даної автодороги чи вулиці. В мікропроцесорному блоці управління це значення порівнюється з поточним значенням швидкості автомобіля. Перевищення швидкості автомобіля над дозволеним значенням швидкості на даній дорозі є підставою для зниження по запрограмованому алгоритму кількості палива, необхідного для подачі на форсунку, а також для зменшення тривалості відкриття форсунок, що призводить до зниження швидкості автомобіля до прийнятних значень. Такі пристрої треба встановлювати на всі транспортні засоби (ТЗ), але на першому етапі це може бути громадський транспорт, транспортні засоби порушників швидкісного режиму та ТЗ, що перевозять небезпечні вантажі.

Такий алгоритм використовує і блок примусової зупинки ТЗ. Ця функція може знадобитися, наприклад, працівникам патрульної поліції, що переслідують порушників чи злочинців. Можуть виникнути інші ситуації, коли конче потрібно зупинити автомобіль. Але для цього потрібна база даних транспортних засобів великого міста чи усієї країни, що містить паролі чи коди доступу до системи керування транспортним засобом з метою примусової зупинки даного

транспортного засобу. До речі, безпечна примусова зупинка транспортного засобу на вулицях міста чи на заміській трасі – це не така проста справа.

Блок ідентифікації транспортного засобу працює за технологією розпізнавання образів [263], що заснована на використанні штучного інтелекту. Робота даного блоку пропонованої системи безпеки руху заснована на застосуванні систем розпізнавання державних реєстраційних знаків автомобілів AutoTRASSIR, що призначені для автоматичної ідентифікації номерів транспортних засобів, які потрапили в поле зору відеокамер. Окрім виконання функцій по виявленню порушників правил дорожнього руху та інших цей блок потрібен для знаходження відомостей про транспортний засіб, зареєстрований у відповідній базі даних. У тому числі і код доступу до системи примусової зупинки даного ТЗ.

Другим за важливістю фактором, що обумовлює виникнення ДТП є нетверезий стан водія автотранспортного засобу. Автором був запропонований варіант вирішення цієї проблеми із застосуванням інформаційних технологій та мікропроцесорної техніки [264].

Цю концепцію доречно буде застосувати у створюваній системі безпеки дорожнього руху в блоці виявлення нетверезого стану водіїв транспортних засобів.

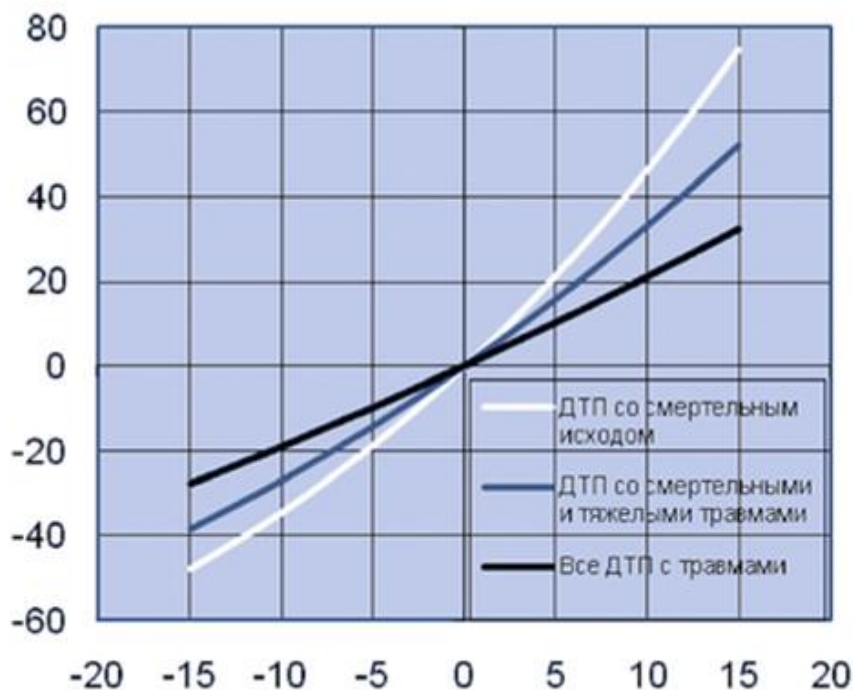
Ще однією важливою складовою пропонованої системи безпеки є блок аналізу відеоряду камер спостереження з метою виявлення аномалій у дорожньому русі [265]. Така аномалія у перебігу транспортних процесів – це будь-яке відхилення від звичайного стану, наприклад, проїжджої частини вулиць, перехресть, заміських магістралей. Наприклад, це поява нерухомого транспортного засобу там, де зазвичай рухаються автомобілі чи поява людини на проїжджій частині вулиці поза зони пішохідного переходу. Пошук аномалій у відеорядах – це надсучасний науковий напрям з використанням нейромереж.

На жаль, обмежений обсяг статті не дозволяє обговорити завдання та особливості інших блоків, що наведені на мал. 1.

Таким чином, запропонована система забезпечення безпеки дорожнього руху повинна значною мірою підвищити рівень безпеки на транспорті за рахунок зменшення випадків перевищення транспортним засобом швидкості руху та випадків керування ТЗ водіями у нетверезому стані. Розроблена система забезпечення БДР може бути доповнена іншими функціональними блоками, що вирішують завдання, пов'язані з безпекою транспортних засобів, пасажирів, вантажів, інших учасників дорожнього руху та пішоходів.

Ключовою проблемою експерти Форуму вважають дотримання швидкісного режиму на автодорогах: "Швидкість є центральним фактором проблем з дорожньою безпекою. Вона впливає і на ризик потрапити в ДТП, і на наслідки аварії".

Кореляція аварійності і швидкості транспортних засобів (мал. 2) досліджена в [258].



Малюнок 2. Кореляція аварійності і швидкості транспортних засобів (по горизонталі – відносне збільшення швидкості ТЗ, по вертикалі - відносне збільшення ДТП)

Судячи з цієї моделі, зниження середньої швидкості на 10% веде до зменшення числа ДТП зі смертельними наслідками майже на 40%, що

підтверджується дослідженнями багатьох незалежних експертів, посилання на роботи яких наведені в [258].

Згідно з висновками доповіді ОЕСР з питань управління швидкісним режимом, ефективна програма управління швидкістю дорожнього руху повинна, серед іншого, включати удосконалення конструкції автомобілів, в тому числі застосування інформаційних технологій.

"З огляду на величезний позитивний потенціал нових технологій, всіляко рекомендується їх широке впровадження", такий цікавий для нас висновок роблять експерти [258]. У цій області вони радять наступне.

1. Всі нові автомобілі повинні бути обладнані обмежувачами швидкості з ручним регулюванням, а також, коли це стане можливим, добровільно встановленими інтелектуальними системи адаптації швидкості (ISA).

2. Для забезпечення отримання результатів від застосування технологій ISA державі необхідно з приватними партнерами створити цифрові бази даних про обмеження швидкості, які зможуть генерувати електронні карти, і поширювати їх для попередження водіїв про перевищення допустимої швидкості.

3. Необхідно зробити установку систем ISA обов'язковою за законом.

Система інтелектуальної адаптації швидкості ISA повинна бути встановлена в транспортному засобі (ТЗ) для дотримання ТЗ встановленого ліміту швидкості за рахунок зчитування обмежень швидкості по маршруту.

Таким чином, експерти Міжнародного транспортного форуму вважають основним шляхом зниження аварійності та смертності на автодорогах зниження швидкості транспортних засобів, в тому числі і примусове.

Розвиваючи і реалізуючи рекомендації Доповіді [258] Європейська комісія з безпеки на транспорті (ETSC) планує з 2020 року зобов'язати автовиробників оснащувати всі автомобілі пристроєм [261], що автоматично примусово обмежує швидкість (ТЗ) відповідно до дорожніх знаків та до інформації про обмеження, розміщеної в геоінформаційних системах.

Цей пристрій використовує відеокамеру, яка розпізнає знаки обмеження

швидкості, а також навігаційні дані, в яких прописаний швидкісний режим на різних дорогах. Про місце розташування автомобіля пристрій обмеження швидкості (ПОШ) дізнається за допомогою глобальної системи позиціонування (GPS). Пристрій буде зіставляти ці дані і не дозволить автомобілю рухатися швидше, ніж значення дозволеної швидкості.

Представляючи майбутні плани Єврокомісії перед Європарламентом у Страсбурзі, Комісар з питань транспорту Віолетта Бульк назвала інтелектуальну допомогу в дотриманні швидкості (Intelligent Speed Assistance – ISA) революційною технологією. Вона також сказала, що коли запропоновані заходи безпеки будуть введені в дію, то «ЄС стане лідером з безпеки на дорогах» [262].

Очевидно, що ЄС виконує рекомендації Міжнародного транспортного форуму щодо зниження аварійності на автодорогах за рахунок, в тому числі, введення примусового зниження швидкості автомобілів відповідно до наявних обмежень. Однак, до конкретної реалізації даного плану фахівці дорожньої і автомобільної промисловості ще не приступили (за деяким винятком). Крім того, наскільки нам відомо, автодороги нашої країни поки не планується оцифрувати з точки зору обмежень швидкості, а це є необхідною умовою введення в дію системи ISA.

Прямою реалізацією рекомендацій Доповіді [258] є Європейська угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ), до якого приєдналася і Україна. У відповідності зі строгими технічними вимогами цих Правил [263] автотранспортний засіб, який здійснює транспортування небезпечних і вибухопожежонебезпечних вантажів, в обов'язковому порядку оснащується спеціальною системою – "Пристроєм Обмеження Швидкості". У правилах ЄЕК ООН №89 пункт 2.6 підпункт 1 говорить: "Пристрій Обмеження Швидкості мається на увазі механізм, який тим чи іншим способом зменшує (обмежує) кількість подаваного у двигун палива. Це призводить до обмеження швидкості руху транспортного засобу до заданої регламентованої величини."

Автомобілі, що перевозять небезпечні вантажі і на які поширюються ці вимоги щодо присутності пристрою обмеження швидкості автомобіля, – це

вантажні автомобілі (транспортні засоби на жорсткій рамі, а також тягачі для напівпричепів) мають максимальну масу понад три з половиною тони.

Згідно з позицією 9.2.5 ДОПНВ пристрій ПОШ має бути налагоджений так, щоб швидкість автомобіля не перевищувала 90 км/год з урахуванням регламентних допусків на пристрій, в межах 5 км/год у бік збільшення або зменшення.

Слід врахувати ще один момент. Сучасні автомобілі (легкові і вантажівки) найчастіше оснащуються заводським пристроєм, вбудованим в систему управління роботою двигуна, яке обмежує максимально можливу швидкість. Але це не те, що вимагають правила з перевезення небезпечних вантажів. ПОШ це повинна бути окрема незалежна механіко-електрична система, яка механічним способом перекидає подачу палива до необхідної межі.

Принцип дії ПОШ заснований [264] на спрацьовуванні електромагнітного клапана на магістралі подачі палива, що обмежує подальший набір швидкості транспортним засобом. МБУ (мікропроцесорний блок управління) отримує відповідні сигнали від спідометра або, в залежності від автомобіля, від датчика швидкості на коробці передач. При досягненні гранично заданій швидкості МБУ передає сигнал на електромагнітний клапан управління подачею палива. При отриманні сигналу клапан закривається, подача палива тим самим обмежується. Клапан налаштований саме на той обсяг подачі пального, який необхідний для досягнення заданої швидкості конкретним транспортним засобом.

Застосування пристрою обмеження швидкості на вантажному автотранспорті, що перевозить небезпечні вантажі також є прямою реалізацією рекомендацій, що містяться в Доповіді [258], але для досить вузької категорії автомобілів. До цієї категорії автотранспорту відносяться і автобуси, що перевозять організовані групи дітей. Звичайно, можна такими пристроями обладнати всі автомобілі, в тому числі, і легкові. Без сумніву, це дало б значне зниження аварійності та смертності на автодорогах. Так що можна рекомендувати державі рухатися і в цьому напрямку. Але у ПОШ є серйозний недолік: виставляти граничне значення швидкості в пристрої необхідно або

самому власнику, або водієві автомобіля, або якійсь уповноваженій особі. А це завжди залишає можливість або для помилки, або для свідомого порушення. Крім цього, виникає складність при зміні значень допустимої швидкості, наприклад, при в'їзді автомобіля з автотраси в міську межу.

Виробники та ділери звичайного автомобільного транспорту навряд чи дадуть дозвіл на втручання в автомобіль без того, щоб припинила діяти гарантія, що робить практично неможливим використання такої технології в звичайних автомобілях.

У сучасних автомобілях вже досить тривалий час застосовують системи управління безперервним впорскуванням бензину або системи розподіленого типу, коли паливо подається через окрему для кожного циліндра форсунку (інжектор). З розвитком і мініатюризацією мікропроцесорної техніки стало можливим управляти процесом подачі палива на форсунки по досить складним алгоритмам відповідно до сигналів численних датчиків (витрати повітря, положення колінвала, температури відхідних газів та інших). Ці алгоритми враховують всі можливі вимоги і обмеження на роботу двигуна автомобіля в різних режимах і реалізуються блоками управління двигуном або бортовими комп'ютерами.

Спосіб дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля працює наступним чином. GSM-приймач (можливо, інший радіоприймальний пристрій) постійно отримує сигнал, який несе значення швидкості, допустиме на даній автодорозі. В мікропроцесорному блоці управління (МБУ), це значення порівнюється з сигналом від цифрового спідометра або датчика швидкості, що є поточним значенням швидкості автомобіля. Неузгодженість цих двох сигналів або перевищення швидкості автомобіля над допустимим значенням швидкості на даній дорозі служить підставою для перерахунку (зниження) по запрограмованому алгоритму блоком МБУ кількості палива, необхідного для подачі на форсунку, а також для зменшення тривалості відкриття форсунок. Зниження подачі палива в циліндри двигуна призводить до зниження швидкості автомобіля до прийнятних значень.

Описаний процес примусового обмеження швидкості автомобіля є досить складним, адже необхідно не просто знизити швидкість транспортного засобу, але зробити це без шкоди для безпеки руху, для економічності їздового циклу та інших показників. Буде потрібен облік мікропроцесорним блоком управління всієї інформації, що надходить від різних датчиків і формування з урахуванням цієї інформації керуючого впливу на електромагнітні форсунки. А це, в свою чергу, спричинить деякі зміни алгоритмів і програм, закладених в МБУ.

Таким чином, зроблені перші кроки по створенню програмного забезпечення для запропонованої системи забезпечення безпеки дорожнього руху, що складається з декількох блоків. Окремий такий блок відповідає за певний безпековий напрям чи дорожнього руху в цілому, чи безпосередньо транспортного засобу. Більша частина цих блоків розроблена автором. В подальшому до розробленої системи можливо інтегрувати додаткові блоки, що будуть відповідати на нові виклики та проблеми, що обов'язково з'являться, наприклад, з включенням до дорожнього руху безпілотних ТЗ.

SECTION 8. LIFE SAFETY

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.8.1

8.1 Prospective technologies of water purification and disinfection for safe human consumption

Introduction. The quality of surface water sources has significantly deteriorated in many regions, mainly due to pollution from industrial activities, agricultural runoff, and, most of all, the Russian invasion of the territory of Ukraine. The impact of such factors on water quality can be severe, leading to several harmful chemical and biological contaminants being introduced into the water supply system.

A comprehensive study by the World Health Organization (WHO) highlights the seriousness of the situation, as approximately 30% of the world's population does not have access to safe drinking water services. Heavy metals such as lead and mercury are ten times higher than recommended safety standards in areas affected by industrial waste. Military operations, especially in conflict zones, significantly contribute to the pollution of surface sources due to the ingress of hazardous substances, such as fuel and organic residues, heavy metals [268]. Lack of access to safe water affects the quality of life of civilians who cannot use potable water for cooking, drinking, and domestic needs.

The health consequences of poor water quality are profound and far-reaching. Contaminated water is linked to diseases such as cholera, dysentery, typhoid, and hepatitis A. The WHO reports that unsafe water, sanitation and hygiene are responsible for about 485,000 deaths from diarrhea each year. In conflict zones, the risk of water-borne diseases is even higher due to sanitation and water supply system disruptions [269]. Long-term exposure to polluted water can lead to chronic diseases, including cardiovascular disease, kidney damage, and neurological disorders. Children are particularly vulnerable, as poor water quality is a significant contributor to child mortality in low- and middle-income countries.

According to studies [270-272], the deterioration of the quality of surface waters caused by military operations requires urgent measures to clean them in order to

provide the population with safe drinking water. In this context, innovative water purification technologies that can be used in everyday life are of great importance.

The development and introduction of innovative technologies and methods of water purification to improve drinking quality play significant role in modern society. Their use helps reduce health risks from disinfection by-products such as trihalomethanes and other chemical compounds and effectively removes traces of organic pollutants. Therefore, a higher level of drinking water safety is ensured, the possibilities of obtaining it from various sources are expanded, and the reliability of the water supply is ensured in the conditions of possible emergencies. Scientific and technical achievements support sustainable development and environmental security, forming the basis for future water resources management initiatives [273].

8.1.1.1 Technologies of micro- and ultrafiltration for obtaining water of drinking quality.

Membrane filtration has become an integral part of modern water purification technologies. In recent years, the number of large water treatment plants dedicated to producing drinking water has increased significantly worldwide. Membrane filtration is divided into several types, each with its characteristics and applications: microfiltration, multimedia filtration, ultrafiltration and reverse osmosis. Membranes, especially ultrafiltration and microfiltration systems, are critical in these processes because they effectively purify water from contaminants.

Although membrane filtration is highly efficient, some disadvantages make it difficult to implement widely:

- 1) accumulation of contaminants on the membrane surface can significantly reduce filtration efficiency;
- 2) soluble organic compounds, disinfection by-products and algae are often difficult to remove with standard membrane techniques;
- 3) the water source must be free from heavy contamination for a membrane plant to efficiently produce potable water.

In modern conditions, micro- and ultrafiltration technologies are recognized as essential and influential means of water purification to ensure the safety and quality of

drinking water. These technologies demonstrate high efficiency in removing disinfection by-products and organic pollutants, which ensures better water quality. Significant progress in the development of ultrathin membranes can be made with a new material such as graphene. Its use can ensure the effective removal of pollutants at lower energy costs [274]. However, the problem of membrane fouling reduces the efficiency and increases the operating costs of filtration, which remains an important challenge for society. Research focusing on the development of solutions has shown that pre-filtration treatments such as coagulation and adsorption can effectively reduce membrane fouling, thereby increasing their durability and reducing the frequency of their washing and replacement [275].

Microfiltration is characterized by the presence of larger membrane pores compared to ultrafiltration and reverse osmosis (pore sizes range from 0.1 to 0.45 μm). This makes it possible to effectively remove bacteria, the simplest microorganisms and large colloidal particles (Fig. 1) [276]. The advantage of microfiltration is the ability to pass gases through the larger pores of the membrane, which allows you to use air to clean the membrane. This feature makes it valuable for microfiltration in various applications that require the removal of larger particles and high water flow. Disadvantages include the inability to retain viruses and the smallest colloids. However, for a more thorough purification of water from smaller pollutants, it is necessary to use additional filtration methods, such as ultrafiltration or reverse osmosis.

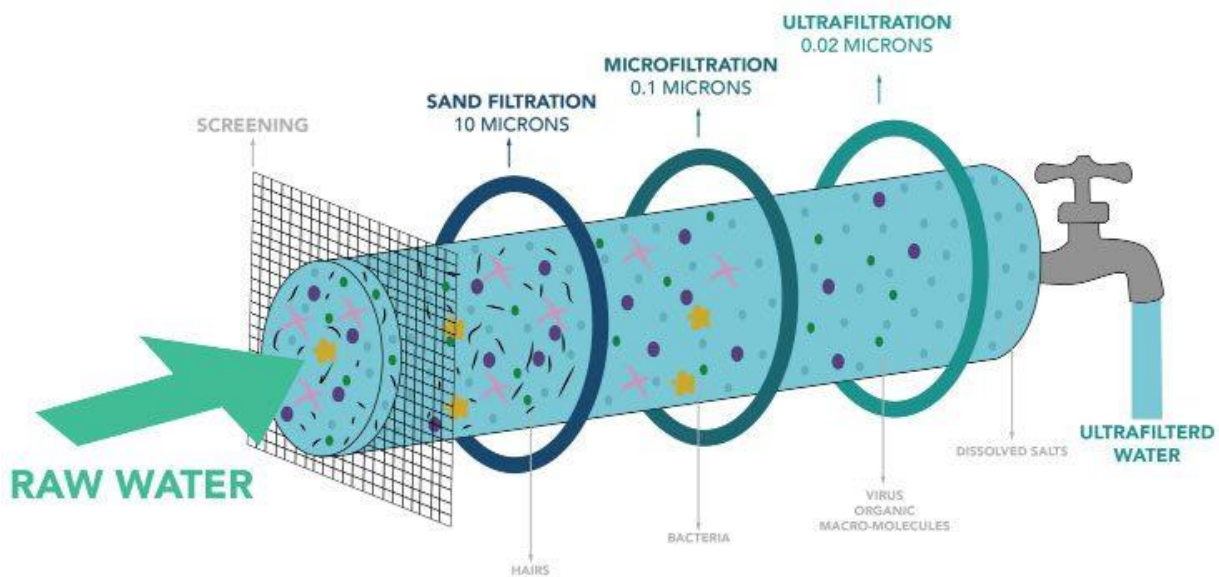


Figure 1. The scheme of retention of various pollutants from the degree of filtration

Microfiltration membranes are also manufactured as hollow fibers with an internal or external membrane, providing a high initial performance. Membrane configuration can vary from manufacturer to manufacturer, but the most common type is "hollow fiber". Usually, water is supplied from the outside of the fibers, and purified water is collected from the inside [275].

Microfiltration membranes, used to purify drinking water, usually work in "dead-end" flow. In this mode, all water supplied to the membrane is filtered through it, forming sediment on the surface of the membrane. This sediment must be washed off periodically to maintain filtration efficiency.

The recovery rate of water purification usually exceeds 90% in cases where the source water has high-quality indicators and low turbidity. This ensures efficient resource use and minimizes water loss during the filtration process.

A multimedia filter (MMF) typically contains three layers of media: anthracite coal, sand, and granite, with a supporting layer of gravel at the bottom. The larger but lighter anthracite is on top, and the heavier but smaller granite is below. This filter media configuration allows the largest particles of dirt to be removed near the top of

the layer. In contrast, the smaller particles are retained deeper and deeper in the medium. This ensures efficient use of the entire bed as a filter, increasing the operating time between backwashes and particle removal efficiency [277].

The multimedia filter can remove particles up to 15-20 μm in size. When adding a coagulant, particles up to 5-10 μm in size can be removed. For comparison, the width of a human hair is approximately 50 μm .

Expanding on this information, multimedia filters can also be customized for specific needs. For example, adding layers with different properties can effectively allow the filter to remove specific contaminants. Regular maintenance and backwashing are vital to maintaining high performance and extending filter life. Backwashing removes accumulated sediment from the filter medium, restoring its throughput and efficiency [278].

Multimedia filters can be applied in various industries, including municipal water supply, industrial processes and water treatment for the food industry. Thanks to their versatility and efficiency, these filters are important to water purification systems, ensuring high-quality purified water.

Ultrafiltration technology is required for the complete removal of viruses. Ultrafiltration membranes have pores (Fig. 2) that can remove particles from 0.001 to 0.1 μm , effectively removing viruses, bacteria, and other small contaminants from liquids. All organic ultrafiltration membranes belong to the asymmetric type, while mineral membranes have a composite structure.

Features of ultrafiltration membranes:

1. Organic membranes. Organic ultrafiltration membranes usually have an asymmetric structure, with the active layer with the smallest pores on the surface and the substrate having larger pores. This ensures high filtration efficiency and membrane strength. The most commonly used polymers are polysulfone, polyvinylidene fluoride (PVDF), and others. These materials ensure the durability and chemical resistance of membranes.

2. Mineral membranes. Mineral ultrafiltration membranes consist of several layers, with the active layer made of materials such as metal oxides (for example,

aluminum oxide or zirconium oxide), which give the membranes high thermal resistance and mechanical strength. They are used in conditions where high heat resistance and resistance to aggressive chemical environments are required, for example, in the pharmaceutical and food industries.

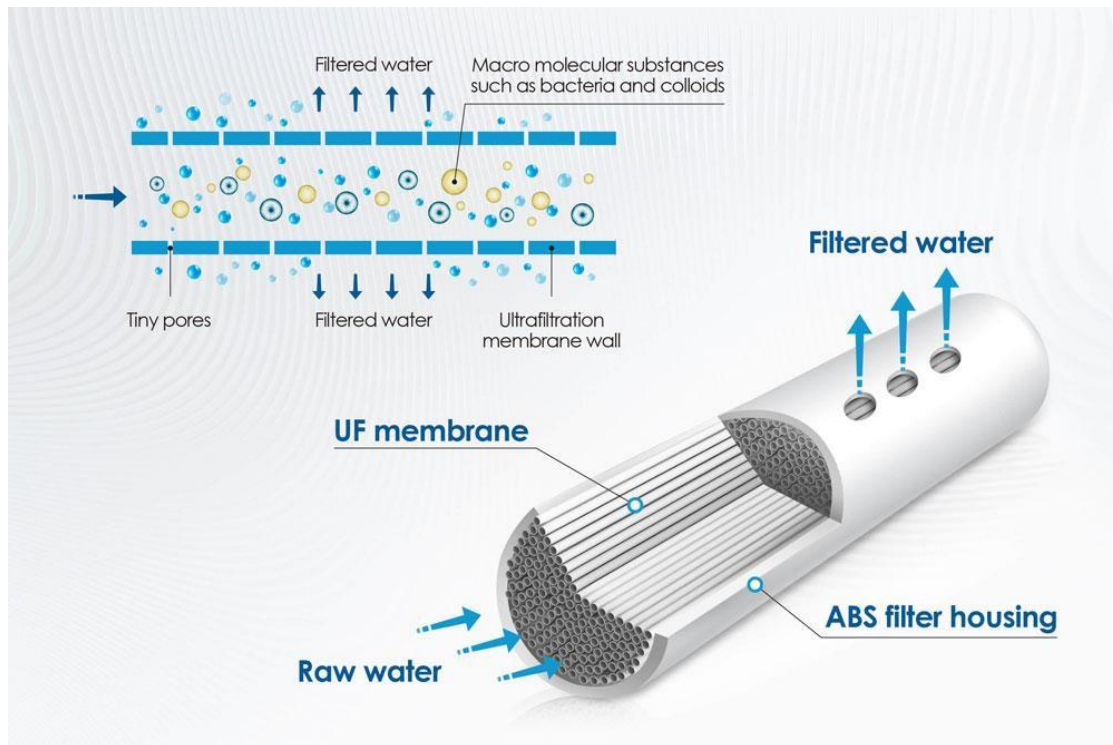


Figure 2. Membranes for ultrafiltration and the principle of their operation

Ultrafiltration membranes freely pass salts and retain only the most extensive dissolved forms, such as macromolecules and some specific particles, including viruses, bacteria, and colloids. They are characterized by a cut-off threshold of molecules of the most negligible molecular weight, which the membrane retains by more than 90%. The degree of contamination retention largely depends on the equipment's operation mode [279].

More extensive pore microfiltration membranes with a cut-off threshold of 0.03-0.1 μm are often used in water treatment. These membranes retain only some macromolecules, reducing the color of water-containing humic acids by 10-20%. The central role of these membranes is to remove substances suspended in water, which is reflected in their name - lightening membrane.

At the beginning of the operation of the new membrane, there is no effect on the maximum productivity. However, over time, the phenomenon of clogging of the membrane appears which becomes decisive for its operation. At constant concentrations and pressure, this phenomenon leads to a gradual decrease in filtrate flow up to the complete blocking of the membrane. Clogging is the result of forming sediment of colloidal particles on the surface of the membrane, as well as the adsorption of various dissolved forms in the membrane's pores [280].

In the first step of this process, backwashing can eliminate clogging, which consists of reversing the pressure to direct the treated water through the membrane to remove the accumulated sludge. However, adsorbed impurities are often not amenable to backwashing or increasing the washing rate, so a special chemical treatment is required to clean the membrane thoroughly.

Using ultrafiltration membranes allows you to achieve a high level of water purification, ensuring the safety and quality of purified water. Regular maintenance and chemical cleaning of membranes are necessary to maintain efficiency and extend their service life [278].

Experience with micro- and ultrafiltration is shown that where water resources were correctly conserved, the installations' efficiency was higher. However, if impurities such as algae and dissolved organic particles were present in the source water, a separate membrane process could not effectively purify the water to the drinking quality recommended for consumption by the WHO. As a result, the use of hybrid (or integrated) membrane processes was proposed.

Research combining various traditional treatment methods as pretreatment for a membrane filtration process has shown that overall performance is significantly improved. This includes increased production flow and membrane life (reduced membrane fouling) and improved fouling removal efficiency.

Hybrid membrane processes combine the advantages of several water treatment methods, effectively removing a wide range of contaminants. This ensures better water quality and stable system operation. For example, the combination of coagulation, settling, and filtration before membrane treatment can significantly reduce the load on

membranes, reducing the frequency of backwashing and the need for chemical cleaning [271].

This approach provides a more economical and environmentally friendly solution for water treatment. The integration of various technologies allows the system to be adapted to specific conditions and types of pollution, ensuring high-quality purified water that follows international standards.

A study of the application of a hybrid combination of coagulation, sedimentation, filtration, and ultrafiltration was conducted on the source water of the Taihu River in China, which is characterized by high turbidity. This research used coagulation as a pretreatment before ultrafiltration membrane processes. The results revealed that the optimal dosage of ferric chloride as a coagulant made it possible to produce water that meets the drinking water standards in China. Coagulation has been found to significantly improve the removal of natural organic matter from water and reduce the fouling tendency of ultrafiltration membranes, thereby increasing their service life.

Also, a pilot test at the Gueui drinking water plant in Korea was implemented to evaluate the effectiveness of the hybrid ultrafiltration system in purifying river water. Precoagulation has been found to significantly improve system performance by reducing the susceptibility of a submerged hollow fiber ultrafiltration module to contamination [274].

Additional studies have confirmed that pre-coagulation treatment can significantly increase the efficiency of ultrafiltration membranes in removing dissolved organic contaminants that would otherwise be difficult to remove. Including coagulation before filtration helps form larger aggregates from small particles and organic molecules, which contributes to their more effective removal by ultrafiltration membranes.

In addition to coagulation, several other methods have been tried in water pretreatment, such as adsorption, peroxidation, ion exchange resins, and biological treatment. Studies have shown that using powdered activated carbon as an adsorbent

significantly improves the removal of organic substances and membrane fouling, reducing the need for frequent and thorough membrane cleaning.

Peroxidation, a process using powerful oxidants such as ozone, chlorine, or permanganate, suppresses the growth of microorganisms and can modify the chemical properties of organic pollutants. One study analyzed the effect of ozonation on the performance of a hybrid ozonation and ultrafiltration system. The results showed that using ozone reduced the fouling of the membranes and significantly improved the filtrate quality due to a reduction in the total organic carbon level in the system.

It has also been found that ion exchange resins can effectively remove specific ions and some organic compounds, thereby improving the overall efficiency of the ultrafiltration system. On the other hand, biological treatment is beneficial for removing biodegradable pollutants and reducing biological load before membrane filtration [275].

It has been proven that the hybrid microfiltration system can effectively improve contaminant removal and cope with the impact load of solid particles. Coagulation significantly increased the retention of water-soluble substances and pollutants responsible for colloidal pollution. Pretreatment before membrane filtration protects the membranes against intensive contamination caused by particles in the water. In addition, a hybrid coagulation-micro/ultrafiltration system can remove viruses that cannot be achieved with either micro- or ultrafiltration alone. This highlights that combining membrane technologies with adequate pretreatment can be a powerful tool for removing viruses from drinking water [276].

The choice of pretreatment method is not limited to coagulation. Other types of pretreatments, such as adsorption, oxidation, and biological filtration, have been considered. Each of these has been shown to be highly effective in improving system performance. Applying these methods makes it possible to achieve a significant increase in the quality of water purification, optimize the operating parameters of the system, and reduce costs for its maintenance and repair.

8.1.1.2 Reverse osmosis technology

Reverse osmosis effectively removes dissolved salts and minerals from water by applying pressure to a semi-permeable membrane through a pump. This method, together with an activated carbon filter, is integrated into a five-stage filtration system that helps remove bacteria, chlorine and minerals that contribute to water hardness. Highly efficient filters must be used to reject and recover salts to ensure optimal operation of the reverse osmosis system. Modern reverse osmosis filters use advanced membrane technologies to improve filtration and can even provide nanofiltration to remove the smallest contaminants (Fig.3).

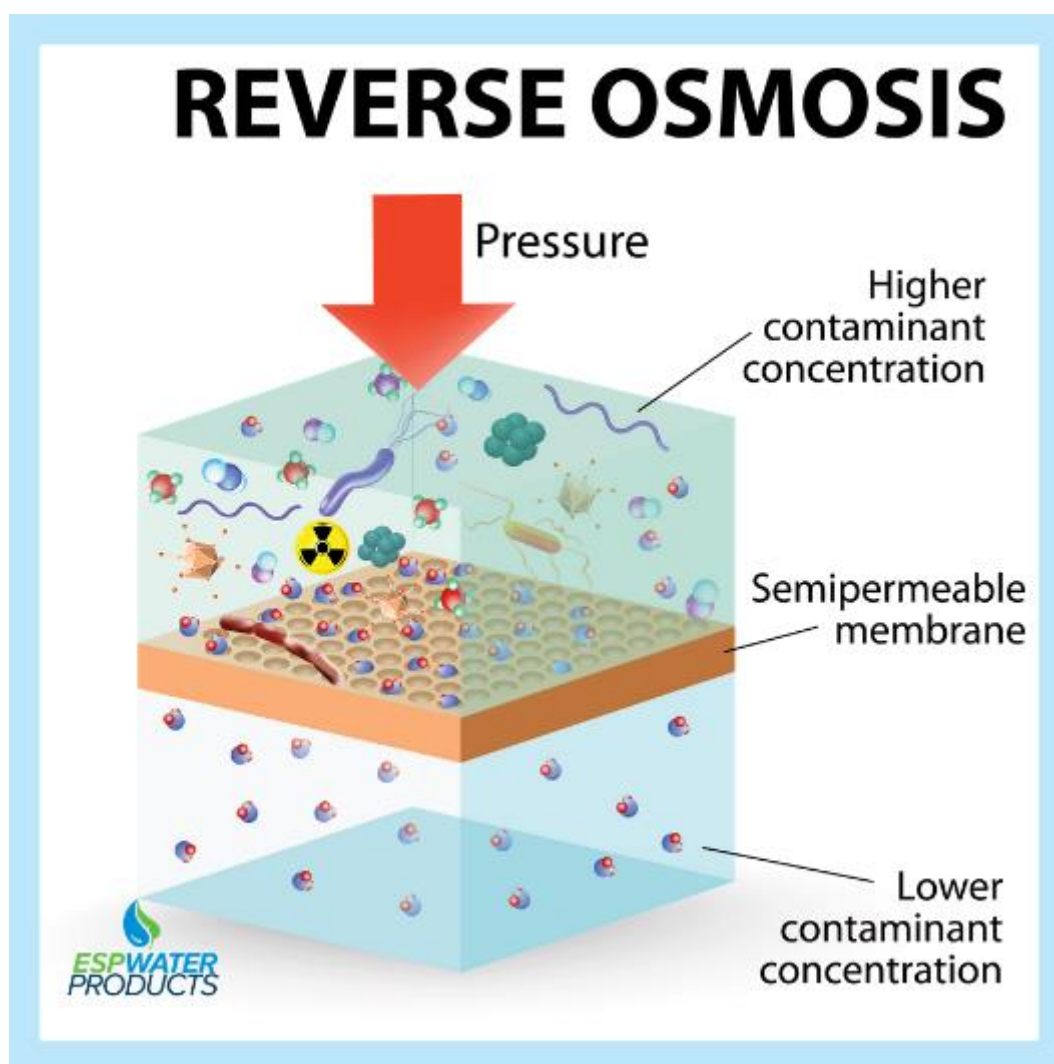


Figure 3. The scheme of operation of reverse osmosis [281]

The main elements of the reverse osmosis system consist of the following components:

1. Cold water line valve. The valve is placed on the cold water line and connects to the tube that supplies water to the pre-filter. This is the primary water source for the reverse osmosis system.

2. Pre-filter. The outlet water first enters a pre-filter, where several filters, such as sediment and carbon, can be installed. These filters not only remove coarse dirt but can also remove chlorine, which is harmful to membranes.

3. The reverse osmosis membrane is the central component of the system, responsible for removing the smallest impurities. Purified water after the membrane is stored in a tank.

4. Additional filter. Purified water passes through a final carbon filter before being fed through the tap, which removes any residual taste or odor.

5. Automatic shut-off valve that controls the water supply to the membrane and shuts it off when the tank is full, thereby saving water.

6. Non-return valve. This valve is located at the exit from the membrane body and prevents the reverse flow of water, protecting the membrane from damage.

7. Flow restrictor. This controls the flow rate through the membrane, ensuring high-quality water purification and maintaining the proper pressure at the membrane's entrance.

8. A storage tank that contains purified water under pressure ensures consistent water access.

9. Mixer. It is installed on the kitchen sink and can be standard or designer, depending on the user's requirements and taste.

10. Drainage line. This line removes filtered impurities from the membrane to the sewer, ensuring proper sludge disposal [282].

Reverse osmosis removes most dissolved salts and minerals from the water by applying pressure to the semi-permeable membrane using a pump. This process is very effective for water purification because the membrane allows only water molecules to pass through, trapping contaminants. Reverse osmosis and carbon filters are used in a five-stage system to remove bacteria, chlorine, and minerals that contribute to water hardness. This ensures clean and safe water for consumption.

A filter with high salt rejection and salt recovery is essential to achieve the best performance of a reverse osmosis system. The rejection rate indicates how well the filter removes salts and other dissolved substances, while the recovery rate indicates how much water can be recovered through filtration. A low recovery rate can be quite expensive, so aim for 75% to 85%.

Modern reverse osmosis filters use advanced membrane technology to perform their tasks. These membranes can have different pore sizes, allowing them to remove pollutants of different sizes. In particular, nanofiltration is possible for modern systems, which allows for the removal of even the smallest particles and pollutants. The smaller the membrane's pore size, the more thoroughly it cleans water [282].

Additionally, pre-filters that remove large particles and organic matter before the water passes through the reverse osmosis membrane can increase system efficiency. This reduces the load on the membrane and extends its service life. Regular maintenance and filter replacement are also important to ensure stable system operation.

Fouling occurs when deposits accumulate on the surface of the membrane, leading to its clogging. Spring water contains many impurities that are invisible to the human eye and harmless for consumption, but can easily contaminate (or clog) a reverse osmosis system. Fouling usually starts at the front of the membrane, leading to an increase in system pressure drop and a decrease in permeate flow. This increases operating costs and requires frequent cleaning or replacing reverse osmosis membranes. Despite proper pretreatment and regular cleaning, some degree of fouling is inevitable due to the microscopic pore size of the reverse osmosis membrane. However, by providing proper pretreatment, the need for frequent fouling problems can be minimized.

Fouling of membranes in reverse osmosis systems can be caused by various factors that contribute to the accumulation of deposits on the surface of the membranes. This reduces system efficiency and leads to increased operating costs. The main factors that can cause fouling are given in the Table.1.

Table 1. Factors that can cause fouling

| Factor | Describing |
|--------------------------------------|--|
| Particles or colloidal substances | Dirt, silt, clay, etc. These particles can easily clog the membrane, reducing its efficiency |
| Organic substances | Humic/fulvic acids, etc. They can contribute to the formation of deposits on the surface of the membrane. |
| Microorganisms | Bacteria, etc. Bacteria can form biofilms that cover the membrane surface and lead to fouling. |
| Breakthrough of the filtering medium | A breach in the carbon layers and softener layers can lead to leakage down the drain, which can contaminate the RO system. |

Various mechanical filtration methods are used to prevent contamination of reverse osmosis systems. The most popular of them are listed in the Table 2.

Table 2. Classification of filtering methods and their purpose

| Method | Purpose |
|--------------------------|--|
| Multimedia filters (MMF) | Used for mechanical filtration to reduce the load on the reverse osmosis system. |
| Microfiltration (MF) | Provides an additional level of filtration to remove solid particles |
| Cartridge filtration | In some cases, it is enough to prevent fouling and extend the life of the membranes. |

Analytical tests determine the potential for contamination of the water supplied to the reverse osmosis system. Mechanical filtration methods are used to prevent contamination of the reverse osmosis system. The most popular methods of pollution prevention are multimedia filters (MMF) or microfiltration (MF). In some cases,

cartridge filtration is sufficient. Using these methods reduces the load on the reverse osmosis system and extends the membranes' service life.

Reverse osmosis has several advantages:

1. It can remove many contaminants, including salts, organic molecules, bacteria, and viruses, making it very effective in producing clean drinking water [276].

2. Unlike distillation, reverse osmosis does not require a phase change, which saves energy and avoids the complexities of handling steam and condensation.

3. A simple and compact system makes it suitable for small-scale and large-scale programs [278].

4. Modern advances in reverse osmosis technology, such as improved membrane materials and energy recovery devices, have significantly reduced the energy consumption associated with reverse osmosis, increasing its efficiency and sustainability [279].

5. Reverse osmosis is universal and can be used not only for the purification of drinking water but also in industries, such as the food industry and pharmaceuticals, where ultrapure water is required [280].

Disadvantages of technology include:

1. Reverse osmosis systems usually require significant energy, mainly due to the high pressure required to operate, which can be a severe drawback of sustainability and operating costs [282].

2. Significant water waste. For every unit of treated water produced, several units of water may be discharged as waste, which is a critical problem in areas facing water scarcity [283].

3. Membrane fouling by minerals, bacteria, and other contaminants is a common problem in reverse osmosis systems. This contamination can reduce system efficiency and increase maintenance costs due to the need for frequent cleaning or replacement of the membrane [284].

4. Disposing of brine (concentrated wastewater) produced by reverse osmosis systems can significantly impact the environment, especially in the marine environment, where it can negatively affect aquatic life [285].

5. Reverse osmosis systems often require significant and expensive pretreatment to protect the membranes from contamination and ensure efficient operation, increasing the overall water treatment cost [286].

In summary, although reverse osmosis is an effective method for removing a wide range of contaminants from water, it is also associated with high energy and water costs, potential environmental impacts from waste disposal, and issues related to membrane fouling and the need for pretreatment processing.

8.1.1.3 "Filtration-ozonation-UV-radiation" technology

All of the methods, as mentioned earlier, of preparing water for drinking quality can be used both at water treatment stations and as independent devices for additional water purification in private and public buildings. However, the disadvantages of micro- and ultrafiltration and reverse osmosis create certain limitations in their wide application.

A prospective direction of water purification for personal needs may be the use of devices or equipment that will have three methods of purification: filtration - ozonation - and ultraviolet disinfection (UV - radiation). The synergistic effect of filtration, ozonation and ultraviolet (UV) radiation is a powerful combination of methods in drinking water treatment systems. Each of these methods has its unique advantages, and their combination allows for achieving high efficiency in water purification.

Filtration is the essential and first step in water treatment systems. It removes solid particles, suspended matter, and some dissolved pollutants from water. Mechanical filters remove large particles such as sand, silt, and rust.

Ozonation uses ozone (O_3), a powerful oxidizer, to disinfect water and oxidize organic and inorganic contaminants. The advantages of ozone include the destruction of bacteria, viruses, and other pathogens, the destruction of organic compounds (pesticides, phenols, and others), the elimination of unpleasant odors, the improvement of the taste of water, and the increase in the content of dissolved oxygen in water.

Ultraviolet radiation has a bactericidal effect and is used to disinfect water. It destroys bacteria, viruses, and parasite cysts without leaving any chemical by-products

in the water. Processing speed: The process is instantaneous and does not require prolonged contact.

Ultraviolet (UV) rays are part of the light that comes from the sun. The ultraviolet spectrum has a higher frequency than visible light and a lower frequency than X-rays. This also means that the UV spectrum has a longer wavelength than X-rays and a shorter wavelength than visible light; the energy order, from low to high, is visible light, UV, than X-rays. It is known that UV water purification technology (Fig. 4) is an effective disinfectant due to its strong bactericidal (deactivating) ability;

Ultraviolet radiation (ionizing radiation) has enough energy to break chemical bonds, killing microbes. UV disinfects water-containing bacteria and viruses and can be effective against protozoa such as *Giardia lamblia* cysts or *Cryptosporidium* oocysts.

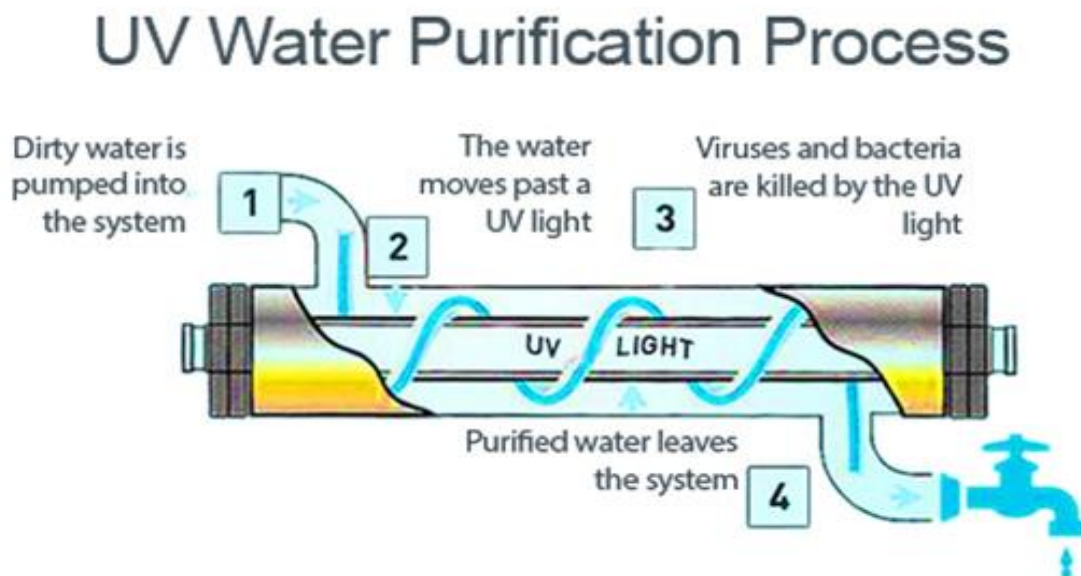


Figure 4. The scheme of water purification with UV rays

Due to safety concerns with chlorination and improvements in UV technology, UV disinfection has become increasingly common in municipal and household systems. There are only a few large UV water treatment plants in the United States, although there are over 2,000 in Europe. NSF certifies and classifies two classes of disinfection systems under Standard 55: Class A and Class B plants.

Type A - These UV water treatment systems must have an "intensity and saturation" rating of at least 40,000 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$. Class A point-of-entry and point-of-use systems covered by this standard are designed to inactivate or remove from natural

water microorganisms, including bacteria, viruses, *Cryptosporidium* oocysts, and *Giardia* cysts.

Type B - These UV water treatment systems must have an "intensity and saturation" rating of at least 16,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ and be designed to provide additional bactericidal treatment to water already considered "safe." "Class B" UV systems are designed to operate at a minimum dose and are intended to "reduce the number of non-pathogenic or nuisance microorganisms only to the limit". "Class B" or similar UV systems are not intended to disinfect "microbiologically hazardous water".

Ultraviolet radiation has three wavelength zones: UV-A, UV-B, and UV-C, and this last region, short-wavelength UV-C, has bactericidal properties for disinfection. Like a fluorescent lamp, a low-pressure mercury arc lamp emits ultraviolet light in the 254 nm range. Nm is one billionth of a meter (10^{-9} meters). These lamps (Fig. 5) contain elemental mercury and an inert gas, such as argon, in an ultraviolet-transmitting tube, usually quartz (which, unlike glass, is transparent to ultraviolet). Traditionally, most mercury arc UV lamps have been of the so-called "low pressure" type because they operate at relatively low mercury partial pressure, low total vapor pressure (about 2 mbar), low external temperature (50-100 °C) and low power. These lamps emit almost monochromatic UV radiation with a wavelength of 254 nm, which is in the optimal range for the absorption of UV energy by nucleic acids;

Since most microorganisms are affected by radiation around 260 nm, UV radiation is appropriate for bactericidal activity. UV lamps produce radiation in the 185 nm range, effectively against microorganisms and reducing total organic carbon (TOC) in water. For a typical UV system, approximately 95 percent of the radiation passes through the quartz sleeve and into the raw water. Water flows over the lamp in a thin film. The quartz sleeve is designed to maintain the ideal lamp temperature of approximately 104 °F.



Figure 5. The example using of mercury lamps in UV disinfection

UV radiation affects microorganisms, changing the DNA in cells and preventing reproduction. UV treatment does not remove organisms from the water; it only inactivates them. The effectiveness of this process depends on exposure time, lamp intensity, and general water quality parameters. Exposure time is given as "microwatt seconds per square centimeter" ($\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$), and the US Department of Health and Human Services has set a minimum exposure of 16,000 $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ for UV disinfection systems. Most manufacturers provide a lamp intensity of 30,000-50,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$. In general, E.coli bacteria, for example, are destroyed at 7000 $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$. Because lamp intensity decreases over time with use, lamp replacement and proper pre-treatment are critical factors in the success of UV disinfection.

However, dissolved organic matter such as natural organic matter, certain inorganic pollutants such as iron, sulfites, and nitrites, and suspended solids (particulate matter or turbidity) will absorb UV radiation or shield microbes from UV radiation, resulting in lower doses of UV radiation and reduced microbial disinfection. Another

concern with disinfecting microbes with lower doses of UV radiation is the ability of bacteria and other cellular microbes to repair UV-induced damage and regain infectivity, a phenomenon known as reactivation. Also, remember that unlike chlorination, there is no residual disinfectant in the water to deactivate bacteria that may survive or may be introduced after the water passes the UV source.

Literature analysis [287] shows that using ozonation and ultraviolet radiation for water purification in drinking water supply systems has a powerful effect. Thus, during the research, direct disinfection and indirect ozonation occurred in the tap water since the pH of the tap water was 7.66, which is in the range of pH 4-9. When disinfecting tap water, ozone and OH radicals play a role in the inactivation of *Escherichia coli* bacteria. The results show that in the process of disinfection using ozone, the optimal disinfection time is 3 minutes, according to the literature, which claims that the effective disinfection time is 2-10 minutes [288]. The synergy of ozone and UV rays is the most effective technology for disinfecting *E. coli* bacteria. For ozone disinfection processes, the lowest number of bacteria remaining at the 30th minute was 1.37×10^4 CFU/ml.

When disinfecting using ultraviolet rays, the effective wavelength for inactivating bacteria was 254 μm . When UV rays come into contact with the deoxyribonucleic acid (DNA) of bacteria, it can cause DNA destruction and stop the reproduction of bacterial cells, and then the bacteria die. UV light resulted in the lowest number of bacteria remaining at 30 minutes, which was 60 CFU/mL. The percentage of bacterial decomposition in this disinfection process reaches 99.99%. This suggests that using ultraviolet light to disinfect a tap water sample containing *E. coli* is more significant in degrading the bacteria than using ozone. In this way, ultraviolet disinfection is more effective than ozone.

In emergency situations and military operations, water for economic and household needs is mostly taken from surface sources, where suspended substances limit the synergistic effect of ozonation and UV radiation.

Therefore, we developed a scheme (Fig. 6) for obtaining safe water in extreme conditions based on preliminary filtering through a coarse filter followed by ozonation

and UV disinfection. After the completion of the first stage, the water is sent to the tank, from where it is then sent through a smaller fraction of a filter to the second stage of purification - ozonation and UV disinfection. In ozonation and UV disinfection, water is purified from organic and microbiological impurities, and some soluble metals are converted into insoluble ones. Purified and disinfected water is sent to the tank, where it can then be taken for domestic and drinking purposes.

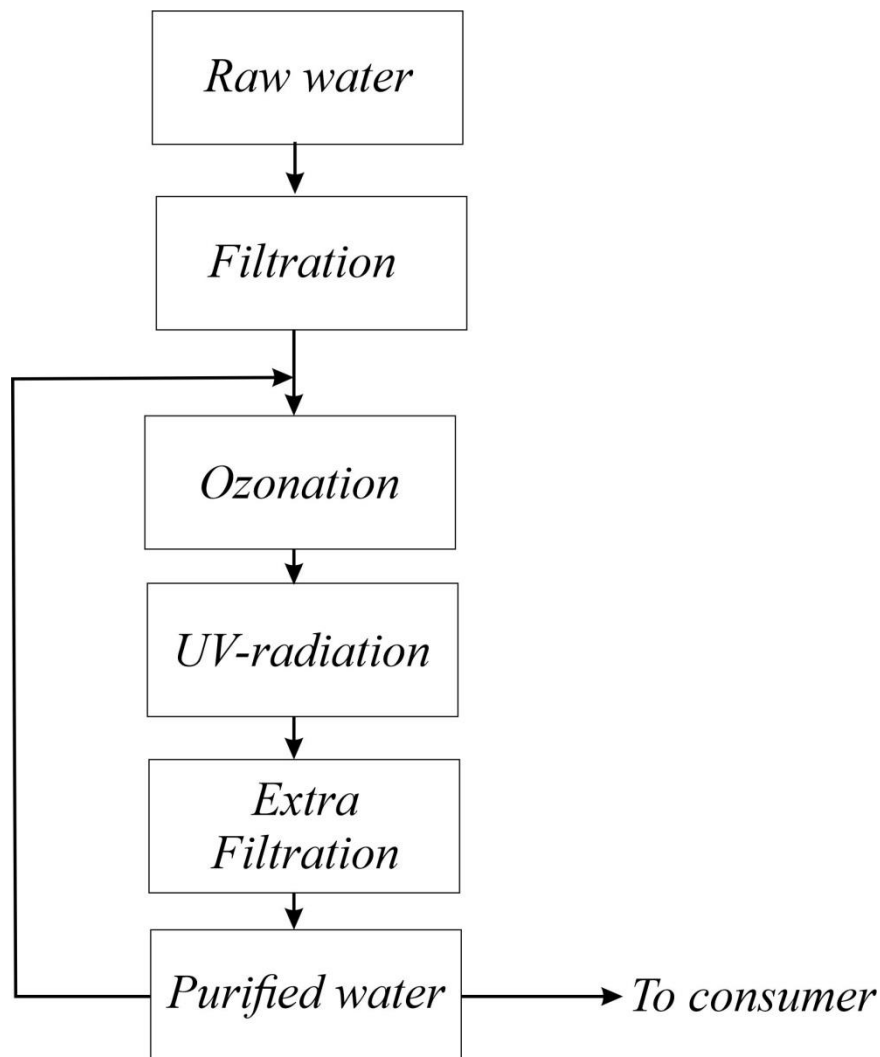


Figure 6. The proposed scheme of purification raw water

The combination of filtration, ozonation and UV-radiation provides the following synergistic effects:

1. Increased disinfection efficiency: Filtration removes solid particles that can protect microorganisms from ozone and UV light. Ozonation disinfects and destroys organic compounds that can absorb UV light, thereby increasing the effectiveness of UV radiation.

2. Reduction of chemical by-products: Combining these methods reduces the need to use chlorine and other chemical disinfectants that can produce harmful by-products.

Conclusion

The quality of surface water sources has significantly declined due to various factors such as industrial pollution, agricultural runoff, and notably, military conflicts like the Russian invasion of Ukraine. This degradation poses severe risks to public health, contributing to the prevalence of waterborne diseases and chronic health conditions. Approximately 30% of the global population lacks access to safe drinking water, with heavy metals and hazardous substances contaminating water supplies, especially in conflict zones. This underscores the urgent need for effective water purification technologies.

Prospective technologies for water purification are:

1. Microfiltration: effective for removing bacteria and large colloidal particles but cannot filter out viruses and the smallest colloids.

2. Ultrafiltration: capable of removing viruses, bacteria, and small contaminants. The use of organic and mineral membranes in ultrafiltration ensures high filtration efficiency, though membrane fouling remains a challenge.

3. Reverse Osmosis: removes dissolved salts and minerals by applying pressure through a semi-permeable membrane. This method is highly effective but requires significant energy and can result in water waste. Advances in membrane technology and pre-treatment methods like multimedia filters help mitigate these issues.

Combining filtration – ozonation - UV-radiation offers a synergistic effect, significantly enhancing water purification efficiency. Filtration removes particles that could shield microorganisms from ozonation and UV light, while ozonation deactivates organic compounds that could absorb UV radiation, increasing the effectiveness of UV disinfection. This multi-barrier approach reduces reliance on chemical disinfectants, minimizing harmful by-products.

A proposed scheme for emergencies and military operations includes preliminary coarse filtration followed by ozonation and UV disinfection. This process

ensures the removal of organic and microbiological impurities, converting some soluble metals into insoluble forms, resulting in safe, potable water.

This integrated method provides a robust solution to water purification challenges, ensuring high-quality drinking water and addressing the limitations of individual purification technologies.

8.2 Usage of multimedia tools in teaching safety disciplines

Multimedia learning means learning from words and pictures. It was developed by Richard E Mayer, an American educational psychologist. The hypothesis from the book *Multimedia learning* stated that people learn more effectively from both words and pictures than just words (Mayer, 2009). [289] In this matter, words consist of written text, spoken text, and even verbal lecture. Pictures are divided into static (illustration and graphic) and dynamic (video and animation). The use of words and images in teaching materials is intended to enhance learning.

Multimedia learning tools are a complex of hardware and software that allow the user to use graphics, hyper-texts, sound, animation, video, etc., using a computer. Undoubtedly, multimedia is a separate type of computer technology that combines traditional static visual information (text, graphics), as well as dynamic - speech, music, video fragments, animation.

When teaching such disciplines as “Life Safety”, “Labour Protection” or “Basics of Labour Protection and Life Safety”, multimedia tools, first and foremost, should present the material in an accessible format that will not only be interesting and informative, but also form residual knowledge.

As is known, classes using multimedia can take various forms. This can be video content, presentations, games or quizzes created using Kahoot (see Fig.1), Jeopardy Labs (see Fig.2) or other similar tools.

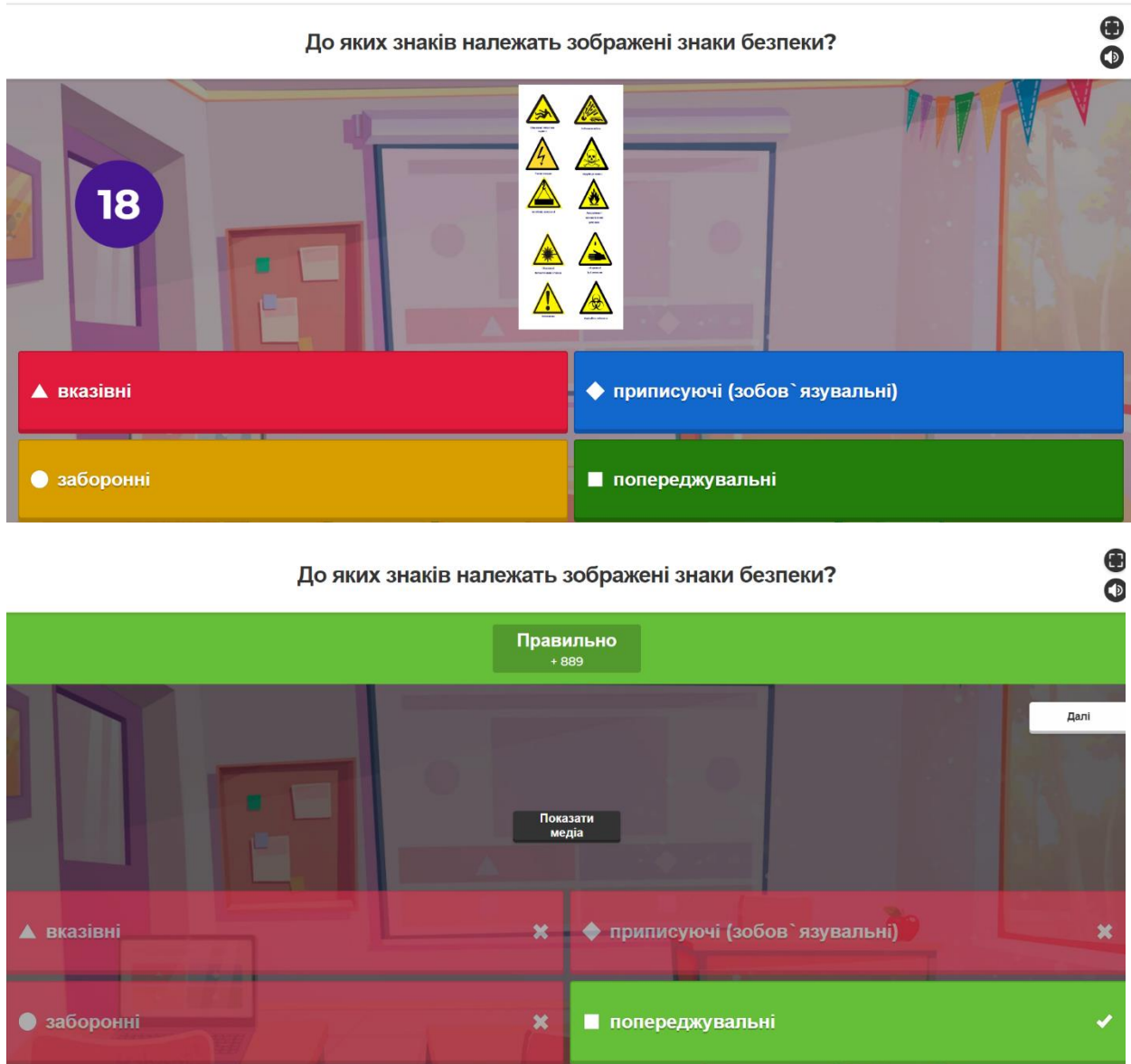


Fig.1. Example of a question and answer view in Kahoot [291]

Quizzes conducted on the Jeopardy Labs platform not only enhance knowledge acquisition but also foster teamwork. If a group of students is divided into several teams, the level of material assimilation and the ability to interact among students become evident. Express testing in Kahoot develops skills in isolating the main points from the acquired knowledge. An encouraging aspect in both cases is the opportunity for the “competition” winners to earn additional points. An important component of success in conducting classes in a game form is the development of tasks for such games directly by the lecturer, as they fully understand the material discussed in previous classes and the knowledge a student needs to successfully pass the discipline.

THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL, AGRICULTURAL AND APPLIED SCIENCES AS THE MAIN FACTOR IN IMPROVING LIFE

← → ↻ jeopardylabs.com/edit/2021-11-10-653 ☆ 👤 ⋮

Instructions: Enter your Jeopardy game title, and category names. Click a cell to enter your question/answer (it's OK to leave some rows/columns/cells blank). When you're done, click Save and Finish. **Dismiss.**

↶ Undo ↷ Redo + Add Row + Add Column Visibility: Public Save and Finish

Охорона праці та БЖД

| | Правові засади та організація охорони праці | Виробнича санітарія та гігієна праці | Травматизм та техніка безпеки | Психофізіологічна діяльність | Пожежна безпека |
|-----|--|--|--|---|--|
| 100 | Сфера дії якого закону України поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих. | Для яких ламп характерний стробоскопічний ефект ? | Який вид порогового струму унеможливило самостійне звільнення людини від його дії ? | Значимі твердження: "Патологічний стан, що розвивається в людини внаслідок хронічної фізичної чи психологічної перенапруги, клінічну картину якого визначають функціональні порушення в центральній нервовій системі - це..." | Скільки існує класів пожеж ? |
| 200 | Хто несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог охорони праці на підприємстві? | Скільки є розрядів зорової роботи (згідно ДБН В.2.5-28:2018) ? | Що таке крокова напруга ? | Що таке дистрес ? | Які основні показники визначають якість піноутворювача ? |
| 300 | Чи створюється служба охорони праці як окремий підрозділ, якщо на підприємстві працює 51 особа ? | Що показує кратність повітрообміну ? | До якого класу належить приміщення, якщо в приміщенні температура повітря вище 35 °С та наявна струмопровідна підлога? | Фактори, що впливають на нервову діяльність людини | Який тип вогнегасників використовують для гасіння електрообладнання, що знаходиться під напругою 1000 В ? |
| 400 | Який вид інструктажу проходить працівник, якщо його переводять з одного структурного підрозділу в інший? | До якої групи належать хімічні речовини , які викликають алергічні реакції ? | Що буде матеріалом розслідування нещасного випадку у разі, коли нещасний випадок визнано таким, що пов'язаний з виробництвом? | Скільки існує фаз нервової діяльності ? | Від чого залежить категорія приміщень за вибухо-пожежонебезпекою (згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016) |
| 500 | Хто здійснює фінансування охорони праці ? | Що визначає категорію роботи за важкістю ? | Хто обов'язково входить до складу комісії з розслідування нещасних випадків, пов'язаних з виробництвом ? | Які існують види віку людини ? | Що включає система організаційно-технічних заходів пожежної безпеки об'єкта? |

← → ↻ jeopardylabs.com/edit/2021-11-10-653 ☆ 👤 ⋮

Instructions: Enter your Jeopardy game title, and category names. Click a cell to enter your question/answer (it's OK to leave some rows/columns/cells blank). When you're done, click Save and Finish. **Dismiss.**

↶ Undo ↷ Redo + Add Row + Add Column Visibility: Public Save and Finish

Охорона праці та БЖД

| | Правові засади та організація охорони праці | Виробнича санітарія та гігієна праці | Травматизм та техніка безпеки | Психофізіологічна діяльність | Пожежна безпека |
|-----|--|--|--|---|--|
| 100 | Закон України "Про охорону праці" | Для яких ламп характерний стробоскопічний ефект ? | Який вид порогового струму унеможливило самостійне звільнення людини від його дії ? | Значимі твердження: "Патологічний стан, що розвивається в людини внаслідок хронічної фізичної чи психологічної перенапруги, клінічну картину якого визначають функціональні порушення в центральній нервовій системі - це..." | Скільки існує класів пожеж ? |
| 200 | Хто несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог охорони праці на підприємстві? | Скільки є розрядів зорової роботи (згідно ДБН В.2.5-28:2018) ? | Що таке крокова напруга ? | Що таке дистрес ? | Які основні показники визначають якість піноутворювача ? |
| 300 | Чи створюється служба охорони праці як окремий підрозділ, якщо на підприємстві працює 51 особа ? | Що показує кратність повітрообміну ? | До якого класу належить приміщення, якщо в приміщенні температура повітря вище 35 °С та наявна струмопровідна підлога? | Фактори, що впливають на нервову діяльність людини | Який тип вогнегасників використовують для гасіння електрообладнання, що знаходиться під напругою 1000 В ? |
| 400 | Який вид інструктажу проходить працівник, якщо його переводять з одного структурного підрозділу в інший? | До якої групи належать хімічні речовини , які викликають алергічні реакції ? | Що буде матеріалом розслідування нещасного випадку у разі, коли нещасний випадок визнано таким, що пов'язаний з виробництвом? | Скільки існує фаз нервової діяльності ? | Від чого залежить категорія приміщень за вибухо-пожежонебезпекою (згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016) |
| 500 | Хто здійснює фінансування охорони праці ? | Що визначає категорію роботи за важкістю ? | Хто обов'язково входить до складу комісії з розслідування нещасних випадків, пов'язаних з виробництвом ? | Які існують види віку людини ? | Що включає система організаційно-технічних заходів пожежної безпеки об'єкта? |

Fig.2. Example of a question and answer view in Jeopardy game [292]

Surveys of students and analysis of responses showed that the use of a game form of conducting classes using multimedia technologies is well received by first- and second-year students, whereas, in senior bachelor's level courses, this type of class did not find a special response: only 40% of students indicated that conducting classes in such a format is appropriate. At the same time, the use of multimedia technologies during the COVID-19 pandemic, as well as at the beginning of Russia's full-scale

invasion of Ukraine in an online format, was favorably noted in the teaching of disciplines. However, this applies primarily to typical lectures, laboratory or practical classes, where presentations and videos were presented, which allowed a more complete perception of the material that was presented in text format on other resources.

Mayer's theory aligns with contemporary thinking on effective learning, which embraces a constructivist perspective: Students learn most effectively when they have to construct their own knowledge structures and mental models. [290] As Mayer tells us, "instructional design involves not just presenting information, but also presenting it in a way that encourages learners to engage in appropriate cognitive processing." According to Mayer's assumption [289], people perceive information through a dual channel, that is, visual information is processed separately and auditory information is processed separately. Thus, by using both the verbal component and the visual one in parallel, a more complete perception of the material by students can be developed. In addition, it should be taken into account that each individual perceives the presented information differently and chooses the optimal type for its perception.

In a certain sense, each person has a limited ability to perceive and process the information that is presented to them, so it would be appropriate to optimize this process and develop those abilities that will increase the effectiveness of learning. On the one hand, the presentation of information should be interesting and stimulate the liveliness of the learning process itself, at the same time, an excess of general information will distract from the main goals of learning. That is why each teacher should choose a balance between making the lecture lively (with audience involvement) and increasing the level of knowledge of the listeners.

Observations have shown that information is poorly perceived when the visual series is duplicated by the verbal component. On the other hand, when one complements the other - the perception of such elements is more complete.

Distracting images or background music adversely affect the overall learning process when studying safety disciplines. Material is better assimilated if there are associations and cues that guide the student to the main goal.

It is advisable to exclude information that is generally available or well-known to most, as it is unfavorably perceived by the audience as a whole.

If information is presented in the form of presentations or slides, it is definitely interesting and important to use a variety of color schemes for arrows, highlights, etc., to draw the listener's attention to important information. In this case, it is advisable to make accents on important and summarizing details at the end of each section. As already mentioned, duplicating text on a slide and pronouncing it in words is not advisable, as it overloads and creates an effect of excessive information for the listener, along with this, it is necessary to take into account differences in the presentation of a certain type of material. Thus, if it is a graphic material that is on the slide, and to give specific explanations to it, then such information with text and graphics is positively perceived by students.

Let's consider some details regarding the color perception of graphics or text on the screen. Let's dwell on this in more detail, taking into account the received comments, impressions and remarks of students during the conduct of the lesson itself.

The *red color* does not always positively affect the actualization of information perception by listeners, since sometimes it is perceived as a signal of anxiety. And this is taking into account that in the context of the discipline we constantly talk about safety and dangers. On the other hand, the use of a light blue-blue color scheme, with slight inclusions of yellow or green, is positively perceived by students.

Shades of *purple, orange or pink* are not perceived positively, as such slide colors are perceived as entertainment information or something secondary.

It was noticed that when presenting a video sequence, it is advisable to give voice-over comments from the speaker, and not just present the video information directly with comments or voice acting, which is directly provided in the video information by the author of the clip. Since such an approach can be perceived as unimportant information or distancing the speaker from the presented material. Even if the teacher uses personal video files where his voice sounds off-screen, you still need to pause when showing the video and supplement with comments "live". In this way,

the integrity of the perception of what is heard and seen is achieved and the effect of the presence of the teacher throughout the entire time is achieved.

If it is not a specific video, but only animated pictures, then they were perceived by students, especially senior courses, as unimportant information, or as a pleasant addition, so in subsequent classes, preference was given to static images that reflected the educational material, along with this, the color scheme of each subtopic changed in order to delineate the main concepts in their presentation.

As experience shows, breaking up homogeneous material into certain blocks is more advisable than presenting it on one slide and in full. So, for example, presenting information about types of responsibility for violation of labor protection and safety requirements, it is advisable to first present a slide with a list of these types of responsibility, and then separately consider each type of irresponsibility on separate slides. In this way, the information is perceived as more understandable and structured.

The use of multimedia content requires a reminder of general knowledge, key terms or concepts that will be discussed in a particular lesson. Otherwise, students who missed something or were inattentive in previous classes will quickly lose interest and be distracted by extraneous matters.

At the same time, it is advisable to remind about the necessary skills that are needed to master a particular material, in this case, even those who for some reason missed the previous material, can later return to it and more fully perceive the received information at a particular lesson.

It was noted a good perception of information by the audience, if the presented drawings did not have specific captions, but were accompanied by explanations from the speaker, what exactly the students see on a specific slide, otherwise - attention was focused on the headings and tried to figure out the presented material faster than the speaker conveys it.

If multimedia content is used directly in the classroom, the manner of information delivery can be traditional, that is, academic. However, when teaching in a remote format (online), such language sounds more rigid and is not perceived by students. They quickly lose interest, feel a communication barrier, in contrast, informal

speech activates the learning process in the online format and creates a relaxed atmosphere.

Using phrases such as “please pay attention”, “let’s consider together” during such classes significantly encourages students to work and collective interaction.

When conducting classes in online mode, adding an image or video image of the speaker does not always positively affect the perception of information. Sometimes it is perceived as a distracting moment or animated image, so sometimes it is more advisable for the teacher not to be directly present in the frame, but to be the so-called “voice-over”. On the other hand, when there is an online conversation with students and the speaker’s image is spread across the entire screen without any other accompaniment, such perception gives the listeners a sense of classroom presence and direct interaction with the teacher.

When using multimedia content, it would be good for the teacher to work with the listeners in advance without its use. In this way, the main accents, the main types of interaction and information delivery are tracked, which can be taken into account in subsequent classes, so as not to create an effect of low or high level of knowledge, and (as a result) exclude from the educational process students who do not fall under certain categories.

If we lean towards Mayer’s theory, then according to his statement, multimedia learning is a sense-making activity in which the student seeks to build a sequential mental representation of the presented material [289].

However, in such perception, there may be certain disagreements, since each person has different ways of perceiving what they see, hear or feel.

It has been over five years since the world has felt changes in education, the first step towards this was a global pandemic that touched the whole world and the education system itself underwent changes that generally changed approaches to learning as a whole. University online learning required the teacher to use other means and approaches, there was no traditional academic perception of the material, there was no lecturer in the center who reported and the audience who listened and took notes of the material. It was necessary to change and adapt known teaching methods, as well as

teaching materials for conducting such virtual classes [292,293]. Different platforms, including Zoom, MS Teams, Google Meet, Big Blue Button, etc., gave a somewhat different presentation of the material and it quickly became clear that it was necessary to develop educational slides and other materials for conducting classes online in a short time. In particular, in addition to traditional presentations or presentation of other files by spreading information on the screen, it was necessary to shoot video content for conducting laboratory classes, so that students have the effect of presence directly in the laboratory class, so it was necessary to form and explain the material on the one hand – just as it was done live, on the other – to provide additional information, so that students can more fully comprehend what they can only see visually, and will not be involved in the process of execution directly physically.

Preparing a presentation for conducting a lecture course required a certain structuring and in some similarity of information delivery. In particular, adherence to classical techniques, such as indicating the topic, purpose, list of main issues to be considered and a brief reminder of the material that was presented earlier. For example, combining the presentation of information on the Moodle platform in pdf or docx files for preliminary familiarization or consolidation of materials, as well as creating a glossary there and methodological support for the possibility of preliminary familiarization with the material that will be in laboratory or practical classes positively contributed to the conduct of such classes.

Furthermore, it was noted that conducting classes using multimedia technologies requires involving students in specific tasks. Particularly positive is the possession of information about specific students who are present at the lesson, for example, surname, name, etc.

When presenting material in slide mode, it is not always advisable to output all the information at once. Information that is displayed on the slide in certain blocks as the lecturer talks about certain concepts is well received. In this way, the main focus is on what the speaker wants to draw attention to or emphasize. At the same time, filling the slide completely in the end result gives a holistic perception of the information that was previously presented or submitted.

Otherwise, these principles work if you use presentations, video files, and the like directly in the audience, as the lecturer can observe the direct reaction and emotional state of those present and adjust their actions or change the emphasis using the voice, taking into account the audience's reaction to certain concepts that are directly displayed in front of the audience, choose to track the reaction so to speak "control group" among those present, to focus primarily on the pace of the lesson. Unfortunately, such contact in online format is inaccessible.

The speech and voice when in the audience is better to use, as mentioned above, a more formal academic speech format, whereas in online mode informal voice explanation is more appropriate and causes a higher level of trust in the audience when viewing, in particular, materials on the screen.

Thus, the use of multimedia tools in online teaching plays a more significant role than in classroom learning, as the transmission of material using text images and voice contributes to significant online learning and is a basic requirement for the design of materials and their presentation in the form of a presentation directly during classes. The only point to pay special attention to is that when conducting practical classes, it is necessary to use an online board to interact directly with the audience, so that students can supplement the concepts that the teacher writes or enter the necessary information. Due to this approach, there is a moment of presence and participation in the lesson directly, unfortunately, the negative point is that in such a format people who are shy or have communication problems feel bad.

Therefore, it is important to select screen materials so that they are not only visually attractive and attract the attention of the viewer and listener, but also contribute to the assimilation of especially difficult or significant concepts that the lecturer explains. However, it is necessary to take into account that the main disadvantage of online learning is the absence of a certain level of discipline: not all students can self-discipline. Therefore, access to materials of already conducted classes for students who had problems with Internet access at a specific point in time or want to review the lesson again is a very important point. This approach is facilitated by the MS Teams platform, which directly allows you to leave video recordings on the platform and does

not require additional efforts from both the lecturer and the students, promotes long-term memorization of information in a remote period of life.

The use of multimedia technologies during the educational process significantly increases the amount of educational information perceived by students. Currently, not all information is assimilated, some of it does not find its place in the logical structures of the educational subject (or its fragment).

The conducted analysis allows us to highlight some features of modern multimedia technologies, namely: first, information saturation, that is, the possibility of providing information in various forms (video, sound, text, etc.); secondly, the possibility of showing phenomena in development, as well as the possibility of using various techniques for presenting information in fragments.

Thus, the use of multimedia technologies in the process of studying security disciplines, on the one hand, expands the possibilities of providing information, on the other hand, it requires a certain level of training from both the teacher and students to perceive and process the information that is available. However, many problems related to the use of multimedia technologies are closely related to general difficulties, such as: the speed of the Internet, the possibility of access to means of communication, and the hardware design of the educational process.

SECTION 9. MECHANICAL ENGINEERING

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.9.1

9.1 Комплексний метод визначення раціональних параметрів посадки з натягом у системах автоматизованого проєктування

Машинобудування є однією з провідних галузей промисловості в Україні, значну частку в якій займає виробництво продукції військового призначення, яке повинно базуватися на наукомістких технологіях. В той же час, до сучасних машин і механізмів висуваються підвищені вимоги щодо технічного рівня та конкурентоздатності на внутрішньому і зовнішньому ринках. Головною умовою досягнення вказаних вимог машинобудівних виробів є зниження термінів їх проєктування і виробництва, підвищення точності виготовлення їх деталей і вузлів, якості функціональних поверхонь. В умовах воєнного стану економічний розвиток в Україні передбачає більш швидке технічне переозброєння виробництва, модернізацію, створення та випуск вузлів, агрегатів машин і обладнання. Особливо це стосується розвитку науково-технічного прогресу військово-промислового комплексу, який має надважливе значення в умовах війни.

Важливою задачею у процесі конструювання нових та модернізації існуючих виробів технічного призначення є відповідна підготовка конструкторської документації. Такі процеси потребують забезпечення відповідними встаткуванням і засобами контролю, а також ефективними технологічними процесами складання агрегатів і вузлів машин. Враховуючи різноманіття сучасної військової техніки, обладнання та озброєння, що застосовується у військових формуваннях України, вже на етапі проєктування виробів слід приділяти велику увагу розробці науково обґрунтованих надійних методів розрахунку, моделювання і прогнозування міцності з'єднань. Вирішення зазначеної проблеми залежить від оперативної інженерної підготовки проєктувальника та пов'язано з вибором необхідної точності виготовлення і складання деталей під час їх проєктування.

Одним із видів складальних з'єднань, що набули широкого поширення в машинобудівній галузі, є посадки з гарантованим натягом по гладкій поверхні, які часто використовуються в конструкціях озброєння і військової техніки. Такі вироби мають можливість передавати значні за величиною і різні за напрямком навантаження при порівняно невеликих габаритних розмірах, що зумовило їхнє застосування у відповідальних вузлах машин і механізмів, які працюють тривалий час у різних умовах навантаження і зовнішніх середовищах. Однак, більшість фізико-механічних процесів, що відбуваються у місці стику контактуючих поверхонь деталей з'єднань мало досліджені у теперішній час. У таких випадках, під час розрахунку та проектування методом прецедентів і подібності використовують досвід застосування посадок із натягом в окремих вузлах машин або механізмів, які найчастіше вимагають перевірки та кореляції розрахунків.

У зв'язку із ймовірнісною природою величини фактичного натягу і контактного тиску можуть варіюватися у широкому діапазоні в області їх допустимих значень, на етапі проектування у конструктора виникає завдання відшукати раціональне проектне рішення зі скінченої множини допустимих. Такий підхід потребує значного досвіду від конструктора-проектувальника, що ставить ефективність проекту в залежність від суб'єктивного фактору.

З урахуванням вказаної проблеми актуальним питанням є забезпеченість підприємства високим рівнем автоматизації процесу проектування і виробництва виробів, що є основою виробничих процесів на сучасних машинобудівних підприємствах. Впровадження інноваційних технологій важко уявити нині без використання й інтеграції сучасних систем автоматизованого проектування деталей з'єднань з натягом. До таких систем висувають комплексні вимоги, починаючи з формалізації поставленої задачі та закінчуючи отриманням комп'ютерних програмних засобів.

В результаті проведених чисельно-досліджень, автором створено ряд ефективних засобів і методика пошуку раціонального проектного рішення із множини отриманих допустимих [295, 296]. Вказані засоби дозволяють

підвищити ефективність і якість широкої номенклатури з'єднань з натягом по гладкій поверхні при їх автоматизованому проектуванні.

В основу вказаних засобів вибору раціонального проектного рішення положено синтезовану автором графічну інтерпретацію (рис. 1) часткової параметричної моделі області існування раціональних посадок з натягом (ОІРПН) у координатному квадранті dlN (де d – посадковий діаметр, l – посадкова робоча довжина, N – натяг у гладкому з'єднанні). Модель dlN є складовою частиною комплексу мультипараметричної моделі (ОІРПН) та побудована на основі аналізу результатів чисельно-аналітичних досліджень розглядуваного з'єднання, отриманих за допомогою авторської комп'ютерної програми Interference Fit [297].

Для оцінки степені коректності отриманої моделі виконувалось дослідження конкретного посадкового з'єднання з натягом – зубчастого вінця зі маточиною колеса «Маточина-бандаж» по гладкій циліндричній поверхні, що здійснюється при термічному способі складання, для прикладу з вихідними даними, що розглядалися у роботах [298–301].

Алгоритм побудови часткової моделі ОІРПН у координатному квадранті dlN [295, 296] складається з наступних етапів.

На координатних площинах dN , lN і dl (див. рис. 1 і 2) відображаються проєкції геометричного образу тривимірної часткової моделі 2 ОІРПН. У межах цього об'єкту з'являється можливість вибирати всі конструкторські рішення, що відповідають граничним умовам придатності посадок з натягом. Однак у міру збільшення посадкової робочої довжини до значення $l \rightarrow \infty$ вздовж координатної осі Ol на координатних площинах lN і dl ця модель ОІРПН та її проєкції мають нескінчені форми об'єктів.

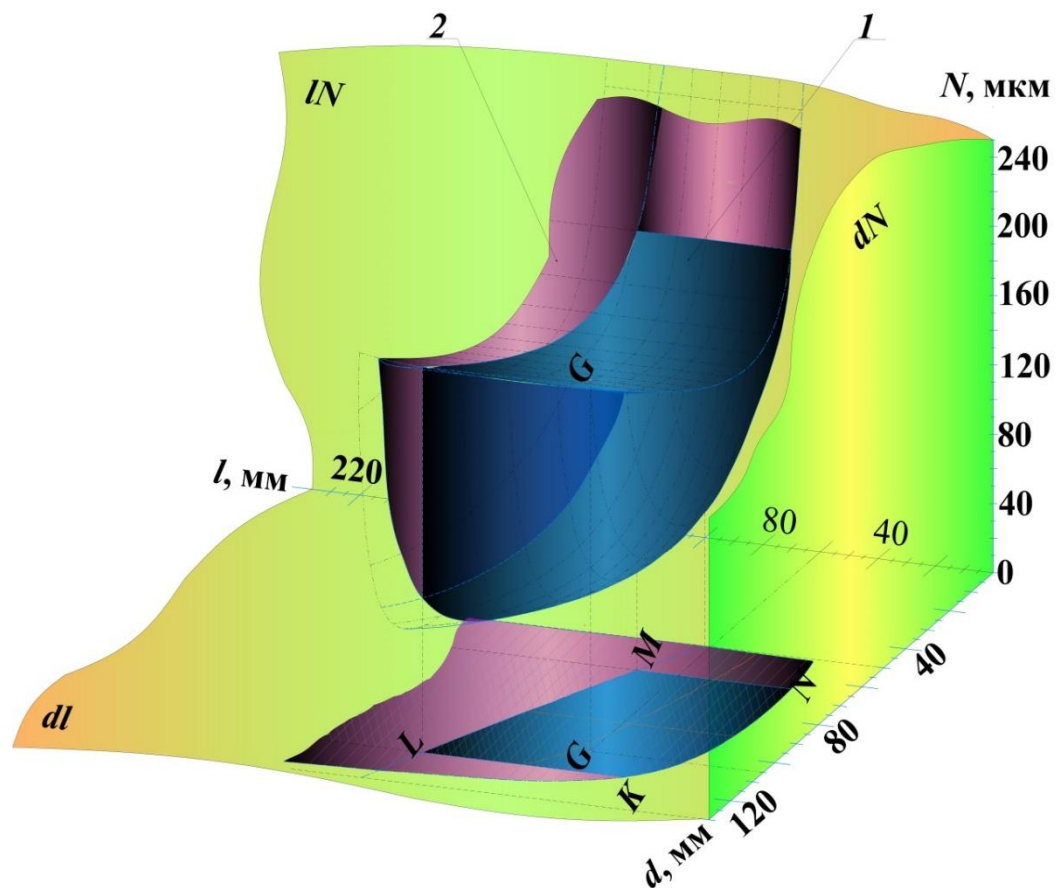


Рисунок 1. Просторовий образ часткової моделі ОІРПН і ЛРЗ у квадранті dlN

I – просторова локалізована рекомендована зона; 2 – часткова модель ОІРПН

Посадкова робоча довжина може бути призначена проектувальником будь-якої величини в діапазоні $l_{кр} \leq l \leq \infty$. У реальних умовах для якісного, ефективного і економічно доцільного виготовлення деталей посадок з натягом та способу їх складання, мають бути враховані технологічні, міцнісні і експлуатаційні умови, які уявляють собою певну кількість факторів обмежень, що накладаються на параметри посадки і впливають на прцездатність як окремих деталей, так всього з'єднання. Для полегшення вибору всередині об'ємної часткової моделі 2 міститься просторова локалізована рекомендована зона (ЛРЗ) I , яка має скінчені розміри форми. У межах ЛРЗ рекомендується відшукувати раціональну посадку з натягом, як остаточне проектне рішення, серед множин альтернативних придатних. ЛРЗ I відділяється від ОІРПН 2 січною поверхнею 3, що розмежовує значення рекомендованих параметрів від усіх можливих придатних.

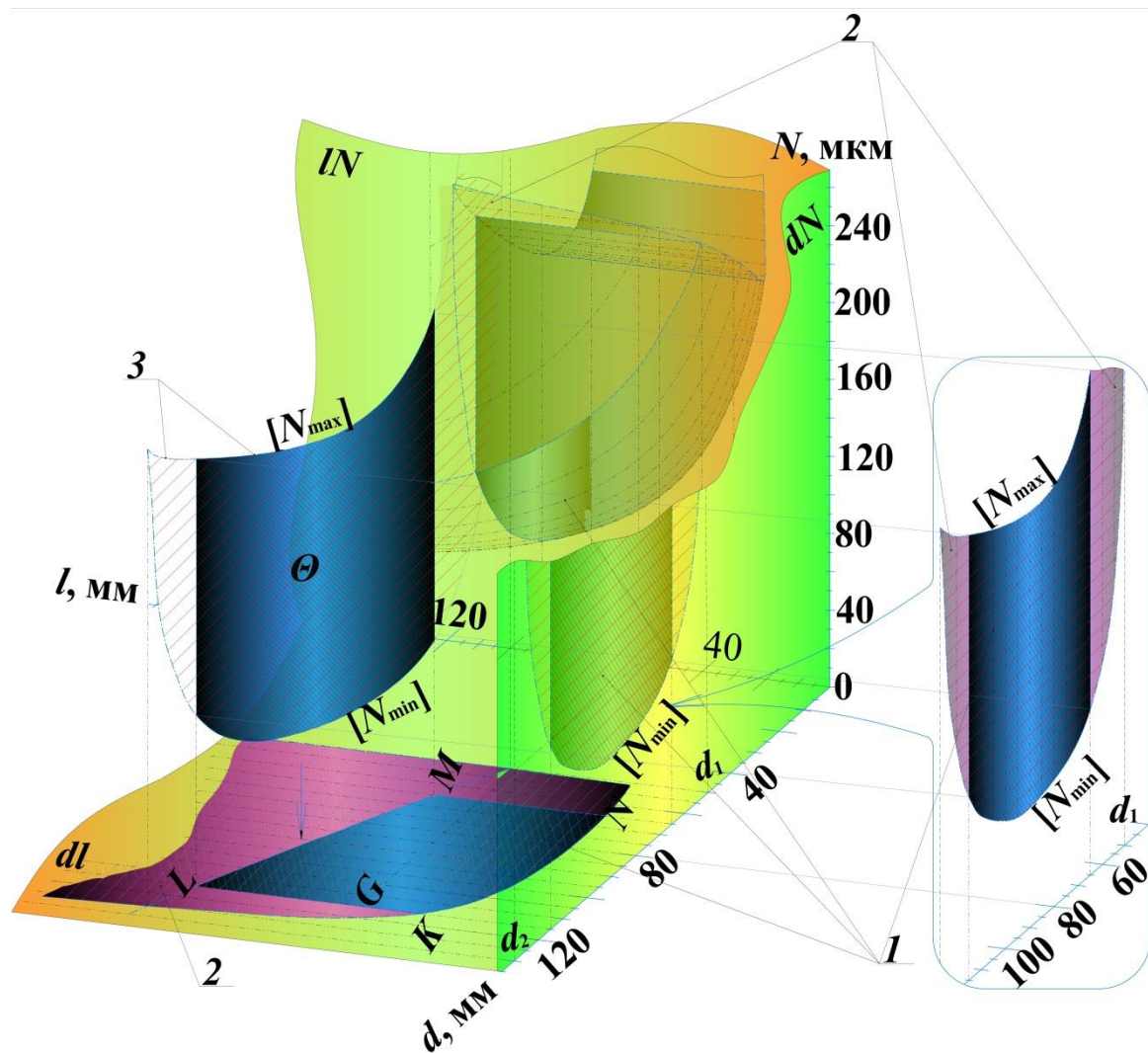


Рисунок 2. Просторові проєкції часткової моделі ОІРПН, ЛРЗ та розташування січної поверхні у квадранті dN

1 – проєкції ЛРЗ; 2 – проєкції ОІРПН (часткової моделі); 3 – січна поверхня, що розмежує значення рекомендованих параметрів від усіх можливих придатних

Форма проєкції січної поверхні 3 [295, 296] на координатній площині dN (рис. 2) утворена двома кривими лініями – зверху відповідає значенням $[N_{max}]$, а нижче – $[N_{min}]$ (де $[N_{min}]$ і $[N_{max}]$ – мінімально і максимально допустимі граничні натяги відповідно у інтервалі значень (від діаметру внутрішньої поверхні охоплюваної деталі d_1 до умовного зовнішнього діаметру охоплюваної деталі d_2). Остаточним параметром, що впливає на вибір посадки, є дійсний натяг N_f , який має відповідати умові $[N_{min}] \leq N_f \leq [N_{max}]$.

При певній дискретній величині посадкового діаметра d_i буде відповідне критичне значення посадкової робочої довжини $l_{крj}$. Інакше кажучи, при d_i величина $[N_{max}]_i$ буде постійною незалежно від будь-яких значень посадкової робочої довжини в діапазоні $l_{крj} \leq l_j \leq \infty$ вздовж координатної осі Ol . Параметр $[N_{max}]_i = \text{const}$ залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу слабшої деталі з'єднання. При відповідному d_i на відміну від $[N_{max}]_i$ величина мінімального граничного натягу $[N_{min}]_i$ поступово зменшується в цьому ж діапазоні $l_{крj} \leq l_j \leq \infty$ (при збільшенні значення $l_j \rightarrow \infty$) та асимптотично наближається $[N_{min}] \rightarrow 0$. За цих умов лінії допустимих значень натягу часткової моделі ОІРПН 2, утворені крайніми точками відрізків діапазону $[N_{min}] \dots [N_{max}]$ проєктуються на координатну площину lN . Кількість множин придатних проєктних рішень (посадок з натягом) послідовно збільшується між кривими границь цієї поступово зростаючої ОІРПН, параметри яких вписуються в цю модель. З цієї причини на координатній площині dN з урахуванням факторів обмеження показано проєкцію січної поверхні 3, позначеною літерою Θ . Крива гранична лінія поверхні 3, що відповідає значенню $[N_{min}]$, визначена залежно від величини максимально рекомендованої посадкової робочої довжини l_{pmax} охоплюювальної деталі з'єднання для сталевих матеріалів, яку рекомендовано обчислювати [295, 302] як: $l_{pmax} \leq 4d^{0.7}$. Січна поверхня 3 проєктується в плані на координатну площину dl у вигляді кривої (прямої) лінії (залежно від l_{pmax}), а її частина (відрізок LM) обмежує ЛРЗ в діапазоні гранично прийнятних значень посадкового діаметра $(d_1 + 15) \dots (d_2 - 15)$.

При побудові математичних моделей просторових об'єктів при проведенні чисельно-аналітичних досліджень у системах автоматизованого проєктування посадок з натягом у роботах [298, 300] розглядалося вибір критерія призначення раціонального сполучення геометричних параметрів d і l посадки з натягом у

межах плоскої проєкції ЛРЗ 1 (у вигляді плоскої фігури $KLMN$), яка належить частковій математичній моделі ОІРПН 2, побудованої в координатній площині dl . Ці об'єкти аналітично описані в роботі [298] за допомогою математичного апарату теорії R-функцій [303 – 306]. Чисельні значення сполучення основних величин d і l представляють собою розташування точки G з відповідними координатами (d_G, l_G) . Розглядувана точка, як центр групування шуканих величин, утворюється при перетині відрізків діапазону $r_{d_{\max}}$ зміни раціональних значень посадкового діаметру та діапазону $r_{l_{\max}}$ зміни раціональних значень посадкової робочої довжини. Визначення центра групування G раціонального сполучення посадкових діаметра d і робочої довжини l є основоположним критерієм як для визначення інших важливих параметрів посадки (питомого тиску p і температури нагрівання t_2 (охолодження t_1) і натягу N , як головної функції) та їх аналізу, так і для вибору конструкторського рішення зі скінченної множини придатних альтернативних у будь-якій області комплексу мультипараметричної математичної моделі.

На рис. 3 представлено просторовий образ часткової моделі ОІРПН разом з ЛРЗ та їх тривимірними проєкціями у квадранті dlN на які накладаються кілька проєкцій локалізованих макетів множин (ЛММ) альтернативних придатних посадок з натягом. Паралельно кожній з цих трьох взаємно перпендикулярних площин dN , lN і dl для розглядуваного прикладу накладаються проєкції n -на кількість ЛММ альтернативних придатних посадок з натягом ($H7/v7$, $H7/u7$ і $H8/u8$), як раціональних конструкторських рішень.

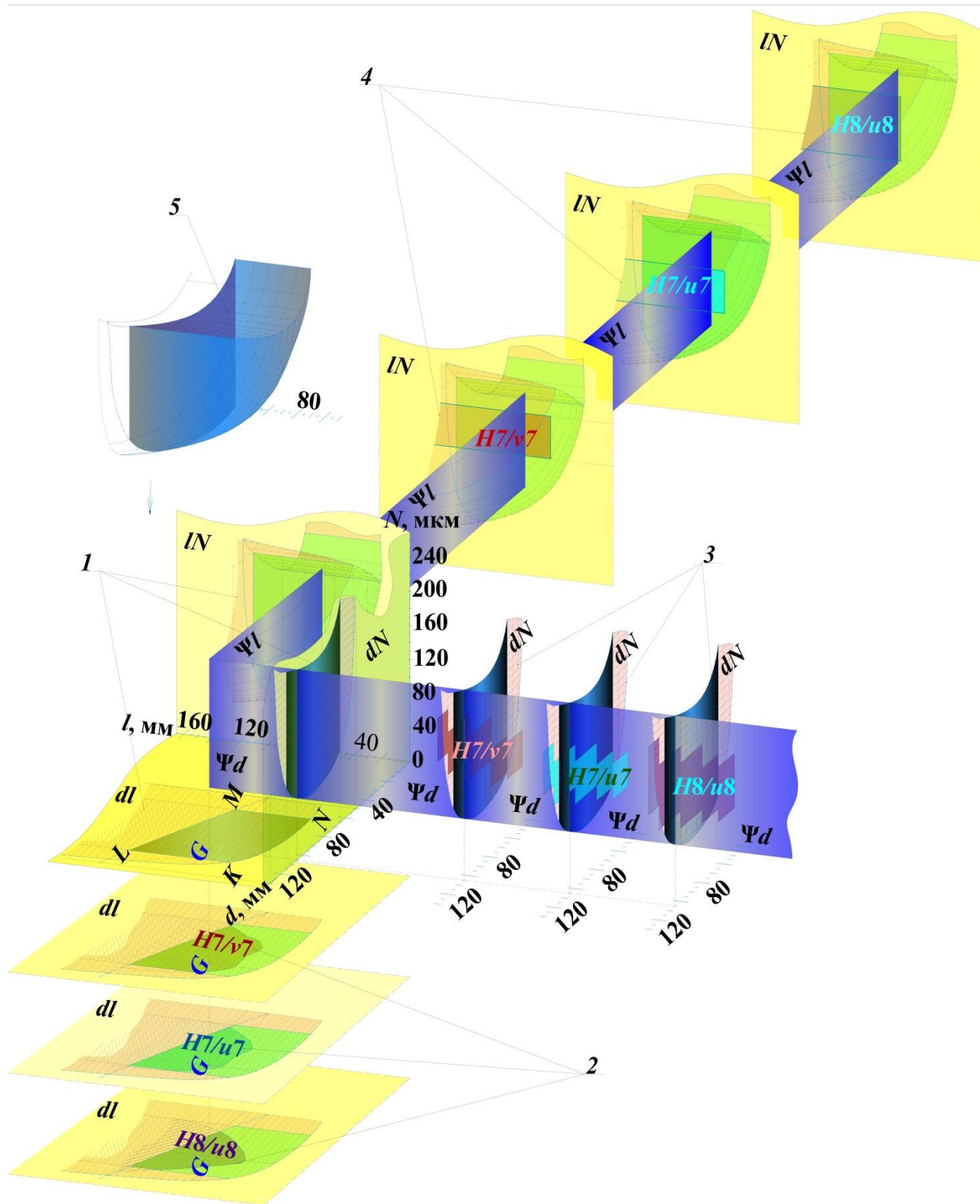


Рисунок 3. Просторовий образ часткової моделі ОІРПН та її проєкції з ЛММ у координатному квадранті dlN

1 – проєкції часткової моделі ОІРПН; 2 – проєкції ЛММ альтернативних посадок у координатній площині dl ; 3 – проєкції ЛММ альтернативних посадок у координатній площині dN ; 4 – проєкції ЛММ альтернативних посадок у координатній площині IN ; 5 – тривимірна часткова модель ОІРПН

На площину dN кожний ЛММ ($H7/v7$, $H7/u7$ і $H8/u8$) проєктуються у формі прямокутних східців залежно від інтервалу значень номінальних діаметрів, рекомендованих для відповідної посадки, що представляють області значень імовірнісних натягів $N_{i\min_k} \dots N_{i\max_k}$ k -ї посадки, де має знаходитися величина дійсного натягу N_f та має відповідати умові:

$$[N_{\min}]_i \leq N_{i\min_k} \leq N_f \leq N_{i\max_k} \leq [N_{\max}]_i. \quad (1)$$

На площину lN (відповідному значенні d_i) – у вигляді прямокутних плоских смужок постійної висоти з різницею значень імовірнісних натягів $N_{i\max_k} - N_{i\min_k}$ для кожної k -ї посадки, що беруть початок від $l_{крj}$ та не мають кінця у діапазоні $l_{крj} \leq l_j \leq \infty$. На площину dl – у вигляді множин, що мають форми поверхонь з криволінійними границями, які при збільшенні кожного значення $l_j \rightarrow \infty$ мають нескінченість. В об'єктах кожної ЛММ k -х посадок, які обмежуються і вписуються у загальні проєкції ЛРЗ на координатних площинах dN , lN і dl , слід шукати раціональне проєктне рішення та відповідні його параметри. На координатну площину dN проєктуються лінія значень, що ортогонально перетинає проєкції січної поверхні з кривими лініями $[N_{\max}]$ і $[N_{\min}]$ допустимих граничних натягів часткової моделі ЛРЗ і ОІРПН (залежно від $l_{p\max}$ при $d = 105\text{мм}$) та параметричні ЛММ альтернативних посадок постійної висоти з різницею значень імовірнісних натягів $N_{i\max_k}$ і $N_{i\min_k}$. Січна параметрична площина Ψd ортогонально перетинає проєкцію ЛРЗ і ОІРПН у координатній площині dN , аналогічно, таким самим чином, січна параметрична площина Ψl перетинає проєкцію часткової моделі у площині lN . Лінія ортогонального перетину січних площин Ψd і Ψl , з висотою, що дорівнює різниці граничних значень допустимих натягів $[N_{\max}] - [N_{\min}]$, при прийнятих на основі критерія призначення раціонального сполучення геометричних параметрів d_i і l_j , проєктується в точку $G(d_G, l_G)$ [298, 300, 301] на проєкційній моделі ЛРЗ (фігури $KLMN$), яка належить координатній

площині dl . Також ця лінія через центр групування G ортогонально прошиває проєкції кожного ЛММ k -х посадок, тобто це дозволяє призначити всі ці з'єднання залежно від прийнятих значень d і l .

Для розглянутого прикладу на основі запропонованого узагальненого критерію вибору раціонального конструкторського рішення з переліку альтернативних [298] залежно від геометричних посадкових параметрів d і l (при $d=105\text{мм}$ і $l=60\text{мм}$) на рис. 4 показана локалізація просторового параметричного ЛММ обраної k -ї посадки з натягом $H7/v7$ та його проєкцій на відповідні координатні площини.

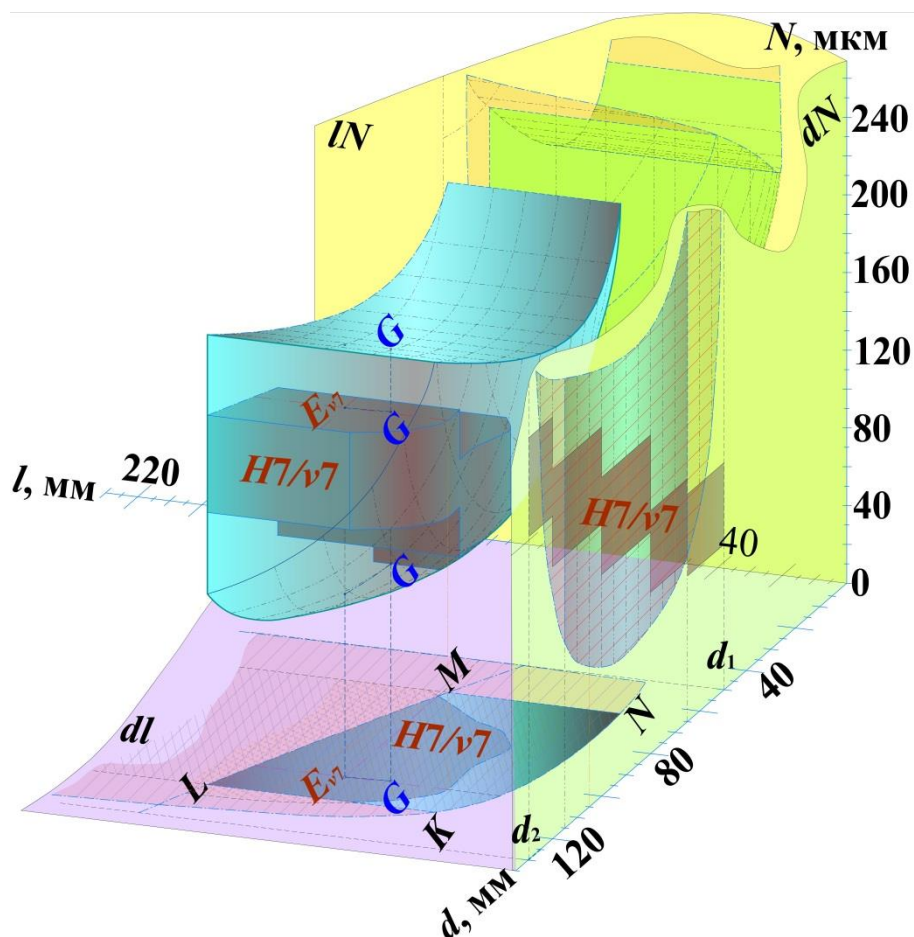


Рисунок 4. Локалізація параметричного ЛММ посадки з натягом $H7/v7$ в ЛРЗ і ОІРПН та їх проєкції у координатному квадранті dlN

Розглядуваний просторовий об'єкт ЛММ міститься всередині тривимірних ЛРЗ і часткової моделі ОІРПН у координатному квадранті dlN . Нагадаємо, суть

критерія полягає у визначенні найкоротшого відрізка GE_k від точки G (у межах проєкції ЛРЗ) до точки E_k (у межах проєкції ЛММ k -ї посадки), що проєктується на координатну площину dl . На поверхні просторового параметричного ЛММ посадки $H7/v7$ показано відрізок GE_{v7} , що наочно показує обґрунтованість прийнятого проєктного рішення з переліку альтернативних як раціонального.

На основі результатів автоматизованого проєктування за допомогою математичного просторового моделювання параметрів посадки з натягом маємо допустимі діапазони значень для визначення ефективності проєктування з'єднання та отримання фактичного натягу, що відповідають умові (1):

$$\left. \begin{aligned} [N_{\min}]_i \leq N_{\text{imin}_{H7/v7}} \leq N_f \leq N_{\text{imax}_{H7/v7}} \leq [N_{\max}]_i \\ 106,043 \text{ мкм} \leq 140 \text{ мкм} \leq N_f \leq 190 \text{ мкм} \leq 214,213 \text{ мкм} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Запропонований автором узагальнений комплексний метод визначення раціонального сполучення і взаємного впливу параметрів математичної моделі посадки з натягом при їх автоматизованому проєктуванні надає можливість наочно представити результати чисельних розрахунків у вигляді просторового геометричного образу. Такий підхід дозволяє всебічно оцінити ефективність та раціональність прийнятих параметрів посадки та проєктного рішення в цілому, а також, підвищити продуктивність процесу проєктування машин та якість конструкторсько-технологічної документації.

9.2 Дослідження напружено-деформованого стану пружних оболонкових конструкцій за допомогою варіаційного RVR-методу

До теперішнього часу побудована велика кількість різноманітних варіантів прикладних теорій оболонок, тією чи іншою мірою уточнюючих класичну теорію, засновану на гіпотезах Кірхгофа-Лява. Достаток нерідко суперечних один одному варіантів прикладних теорій створює певні утруднення у виборі уточненої теорії, яка при цьому не містить регулярного процесу уточнення й має обмежену область свого практичного застосування. Використання сучасних матеріалів в оболонкових конструкціях приводять до необхідності розвитку механіки пружних оболонок та побудови їх уточнених моделей. З накопиченого у науковій літературі матеріалу досліджень міцності і жорсткості пружних оболонок різної гаусової кривини, розробка в рамках уточнених теорій ефективних методів для визначення тривимірного напружено-деформованого стану (НДС) багатозв'язних оболонок довільної товщини належить до актуальної проблеми, вирішення якої у просторовій постановці пов'язано зі значними математичними й обчислювальними труднощами.

В монографії [307] розроблено новий науково обґрунтований й універсальний, надійний і алгоритмічно простий, ефективний при реалізації чисельно-аналітичний метод (далі – варіаційний RVR-метод) розрахунку тривимірного НДС статично навантажених однорідних і неперервно неоднорідних по товщині нетонких анізотропних оболонок з отворами довільних розмірів і форм. Пропонований RVR-метод ґрунтується на варіаційному принципі Рейсснера [308] (для підвищення точності розв'язання задач), методі І.М. Векуа [309] (для зведення розв'язку тривимірної задачі регулярною послідовністю розв'язків двовимірних задач), теорії R-функцій [310] (для точного врахування на аналітичному рівні геометричної інформації досліджуваних оболонок і створення аналітичних структур розв'язків, що точно задовольняють крайові умови на поверхнях оболонок) та на залученні повної системи загальних рівнянь тривимірної математичної теорії пружності.

Надалі під оболонкою маємо на увазі тіло, яке займає деяку область Ω і обмежено лицьовими криволінійними поверхнями Γ^\pm (при $z = \pm h/2$), відстань між ними визначає сталу товщину h оболонки (рис. 1), на величину якої не накладаються обмеження. Поверхня, яка рівновіддалена від лицьових поверхонь, називається серединною поверхнею Ω_s , в якій розташуємо ортогональну криволінійну систему координат $\{\alpha_1, \alpha_2, z\}$ з ортами $\{\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{n}\}$. Координатні лінії α_1 і α_2 спрямовані, як і пружно-еквівалентні напрямки ортотропії матеріалу, уздовж ліній головних кривин оболонки, а координатна лінія z перпендикулярна серединній поверхні Ω_s ($z = 0$). Пружна оболонка є замкненою, коли вона не має інших границь, крім поверхонь Γ^\pm . Якщо оболонка має край, припускаємо, що її бічна поверхня утворюється переміщенням перпендикуляра до Ω_s уздовж обмежуючого цю поверхню контуру Γ_s .

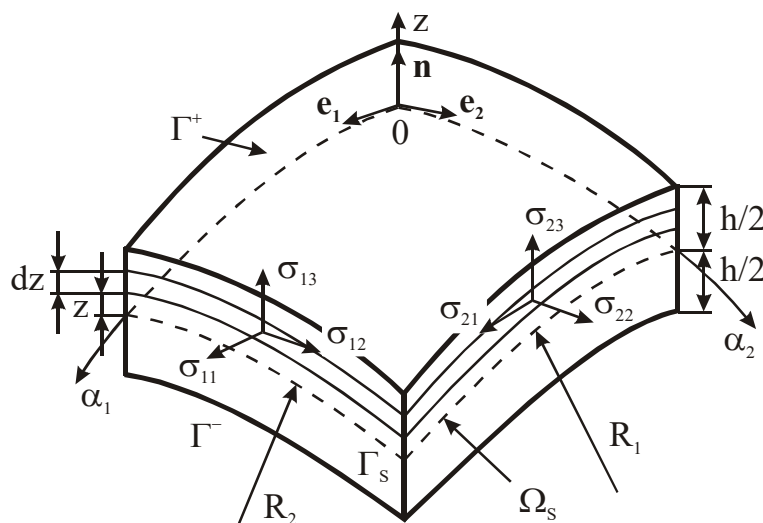


Рисунок 1. Елемент пружної оболонки

Основною задачею теорії оболонок є визначення і аналіз напружено-деформованого стану, що виникає в оболонці при заданих зовнішніх навантаженнях і умовах закріплення країв. Уважаємо, що напруження в оболонці не перевищують межі пружності ортотропного матеріалу, а діюче на оболонку статичне навантаження таке, що можна скористатися геометрично лінійною теорією оболонок. Існують різні підходи до визначення границь застосовності

лінійної теорії оболонок, наприклад, можна виходити з відношення величин вектора переміщення \mathbf{u}_s точок серединної поверхні оболонки до її товщини і уважати, що лінійна теорія застосовна, якщо $|\mathbf{u}_s|/h \leq 1/5$. У практичних розрахунках прийнято розрізняти по геометричних параметрах тонкі оболонки, для яких відношення $h/R_0 \leq 1/20$; середньої товщини – $1/20 < h/R_0 \leq 1/5$; товстостінні – $h/R_0 > 1/5$ (R_0 – мінімальний радіус кривини серединної поверхні). Однак оцінки області застосовності цієї або іншої теорії пружних оболонок носять досить умовний характер і дають лише перший орієнтир при виборі варіанта теорії оболонок для розв'язку конкретної задачі.

При розробці варіаційного RVR-методу створено нові аналітичні структури розв'язків задач статки пружних оболонок, які точно задовольняють усі граничні умови для просторових крайових задач механіки деформованого твердого тіла. Наведемо суттєві математичні аспекти побудови названих структур розв'язків для крайових задач статки ортотропних оболонок. Для цього розглянемо тривимірний елемент оболонки (рис. 2), обмежений поверхнями Γ^\pm і бічною поверхнею Γ_s , яка перетинає серединну поверхню Ω_s уздовж граничної лінії G , що характеризується нормаллю \mathbf{v} і дотичною $\boldsymbol{\tau}$.

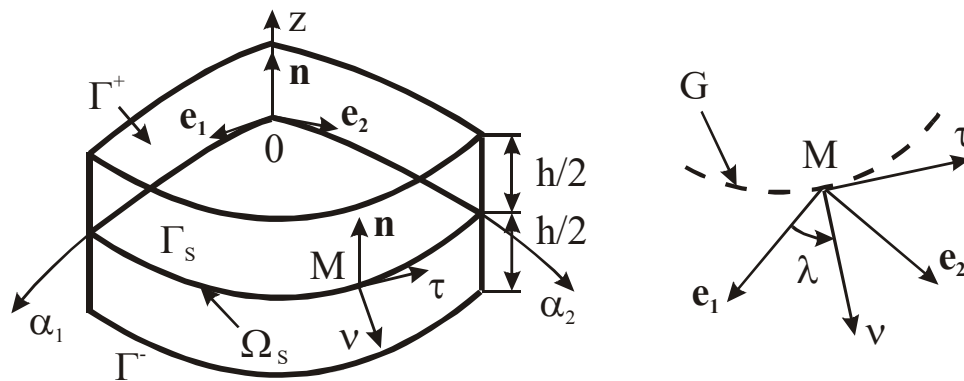


Рисунок 2. Елемент пружної оболонки

Нехай λ – кут між координатною лінією α_1 і нормаллю \mathbf{v} до кривої G , тоді згідно рис. 2.

$$\mathbf{v} = \mathbf{e}_1 \cos \lambda + \mathbf{e}_2 \sin \lambda; \quad \boldsymbol{\tau} = -\mathbf{e}_1 \sin \lambda + \mathbf{e}_2 \cos \lambda. \quad (1)$$

Вектор переміщення \mathbf{u} представимо у вигляді:

$$\mathbf{u} = u_v \mathbf{v} + u_\tau \boldsymbol{\tau} + u_3 \mathbf{n}. \quad (2)$$

Справедливі співвідношення:

$$u_v = u_1 \cos \lambda + u_2 \sin \lambda; \quad u_\tau = -u_1 \sin \lambda + u_2 \cos \lambda. \quad (3)$$

Формули, що визначають компоненти тензора напружень $\boldsymbol{\sigma}$ в точках довільної кривої G оболонки з нормаллю \mathbf{v} (рис. 2), мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{vv} &= \sigma_{11} \cos^2 \lambda + \sigma_{12} \sin 2\lambda + \sigma_{22} \sin^2 \lambda; \\ \sigma_{v\tau} &= (\sigma_{22} - \sigma_{11}) \sin \lambda \cos \lambda + \sigma_{12} \cos 2\lambda; \\ \sigma_{vn} &= \sigma_{13} \cos \lambda + \sigma_{23} \sin \lambda. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

У розрахунковій інженерній практиці при розв'язанні різної складності крайових задач теорії пружності все більша увага приділяється змішаним варіаційним постановкам, що будуються на основі функціонала Рейсснера \mathbf{I}_R при незалежній апроксимації вектора переміщення \mathbf{u} й тензора напружень $\boldsymbol{\sigma}$. Функціонал Рейсснера \mathbf{I}_R напишемо в такий спосіб:

$$\mathbf{I}_R = \int_{\Omega} \left[\sigma_{ij} \varepsilon_{ij} - W(\sigma_{ij}) - u_i F_i \right] d\Omega - \int_{\Gamma_u} (u_i - u_i^*) \sigma_{ij} n_j d\Gamma - \int_{\Gamma_\sigma} t_i u_i d\Gamma, \quad (5)$$

де питома додаткова робота деформації $W(\sigma_{ij})$ для лінійно-пружного тіла дорівнює за величиною пружному потенціалу i , зокрема, для ортотропного тіла може бути представлена в наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} W(\sigma_{ij}) &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{E_1} (\sigma_{11} - 2\nu_{21} \sigma_{22}) \sigma_{11} + \frac{1}{E_2} (\sigma_{22} - 2\nu_{32} \sigma_{33}) \sigma_{22} + \right. \\ &\left. + \frac{1}{E_3} (\sigma_{33} - 2\nu_{13} \sigma_{11}) \sigma_{33} + \frac{1}{G_{12}} \sigma_{12}^2 + \frac{1}{G_{13}} \sigma_{13}^2 + \frac{1}{G_{23}} \sigma_{23}^2 \right]. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Справедливі також наступні рівності

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ij}\varepsilon_{ij} &= \sigma_{11}\varepsilon_{11} + \sigma_{22}\varepsilon_{22} + \sigma_{33}\varepsilon_{33} + 2(\sigma_{12}\varepsilon_{12} + \sigma_{13}\varepsilon_{13} + \sigma_{23}\varepsilon_{23}); \\ d\Omega &= A_1A_2\chi_1\chi_2d\alpha_1d\alpha_2dz. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

У функціоналі Рейсснера I_R (5) варіюються незалежно друг від друга компоненти u_i вектора переміщення \mathbf{u} і компоненти σ_{ij} тензора напружень $\boldsymbol{\sigma}$, тому стаціонарному значенню I_R відповідають дійсні поля переміщень і напружень, а в точці стаціонарності (сідлової точці) функціонал I_R має $\min_u \max_\sigma$. Варіаційний принцип Рейсснера, сформульований для функціонала I_R , полягає в тому, що варіаційне рівняння Рейсснера

$$\left. \begin{aligned} \delta I_R &= \int_{\Omega} \left\{ \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - a_{ijkl} \sigma_{kl} \right] \delta \sigma_{ij} - \left(\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + F_i \right) \delta u_i \right\} d\Omega - \\ & - \int_{\Gamma_u} (u_i - u_i^*) n_j \delta \sigma_{ij} d\Gamma + \int_{\Gamma_\sigma} (\sigma_{ij} n_j - t_i) \delta u_i d\Gamma = 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

еквівалентно співвідношенням напруження-деформації, рівнянням рівноваги, геометричним і статичним крайовим умовам досліджуваної задачі.

Виражаючи в I_R (5) згідно зі співвідношеннями Коши компоненти ε_{ij} тензора деформації $\boldsymbol{\varepsilon}$ через компоненти u_i вектора переміщення \mathbf{u} , в роботі [307] представлені аналітичні вирази варіаційного рівняння Рейсснера $\delta I_R = 0$ в ортогональній криволінійній системі координат $\{\alpha_1, \alpha_2, z\}$ для тривимірних крайових задач статички ортотропної оболонки довільної гаусової кривини. Зауважимо, що математичний висновок відповідного рівняння $\delta I_R = 0$ для тонкої оболонки з урахуванням поперечного зсуву та обтиснення виконаний П. Нагді в його роботі [311], яка, на жаль, не вільна від помилок і непослідовна у виборі закону розподілу переміщень по товщині пружною оболонки.

Як відомо, граничні умови в крайових задачах теорії пружності можуть бути задані в напруженнях, переміщеннях і в змішаному вигляді. Наприклад, на контурі $\alpha_i = \text{const}$ граничні умови в напруженнях сформулюються (при $i \neq j = 1, 2$) через величини σ_{i1} , σ_{ij} і σ_{i3} , а в переміщеннях – через u_1 , u_2 і u_3 .

Щоб задані напруження і переміщення не суперечили варіаційному рівнянню Рейсснера, граничні умови повинні сформулюватися у вигляді комбінацій згідно енергетичним [312] парам на лицьових поверхнях Γ^\pm (при $z = \pm h/2$):

$$\sigma_{i3} = t_i^\pm \vee u_i = u_i^\pm \quad (i = \overline{1, 3}), \quad (9)$$

а також на бічній поверхні Γ_s :

$$\sigma_{vv} = \sigma_{vv}^{(s)} \vee u_v = u_v^{(s)}; \quad \sigma_{v\tau} = \sigma_{v\tau}^{(s)} \vee u_\tau = u_\tau^{(s)}; \quad \sigma_{vn} = \sigma_{vn}^{(s)} \vee u_3 = u_3^{(s)}. \quad (10)$$

Розглянемо деякі найпоширеніші однорідні граничні умови на поверхні Γ_s з нормаллю \mathbf{v} (рис. 2):

а) вільний край:

$$\sigma_{vv} = 0; \quad \sigma_{v\tau} = 0; \quad \sigma_{vn} = 0, \quad (11)$$

б) вільно опертий край:

$$\sigma_{vv} = 0; \quad \sigma_{v\tau} = 0; \quad u_3 = 0, \quad (12)$$

в) край з абсолютно жорсткою у своїй поверхні діафрагмою:

$$\sigma_{vv} = 0; \quad u_\tau = 0; \quad u_3 = 0, \quad (13)$$

г) ковзне защемлення краю:

$$u_v = 0; \quad \sigma_{v\tau} = 0; \quad \sigma_{vn} = 0, \quad (14)$$

д) абсолютно защемлений край (жорстке защемлення):

$$u_v = 0; \quad u_\tau = 0; \quad u_3 = 0. \quad (15)$$

Граничні умови можуть бути неоднорідними при заданих на краю значеннях статичних і кінематичних величин. Якщо оболонка є повністю замкненою (не має граничного контуру) або частково замкненою (границя проходить у напрямку однієї координати), то граничні умови (11) ÷ (15) уздовж замкнених координатних осей заміняються умовами періодичності, які забезпечують однозначність шуканих величин у кожній точці.

Як відомо, в математичній фізиці [313] ставлять і розв'язують відносно рівняння Лапласа три основні крайові задачі: Діріхле, Неймана і змішана (Ньютона згідно [314]) або, як їх іноді називають, перша, друга і третя крайова задачі. Формулювання цих задач різняться лише супутніми рівнянню Лапласа

крайовими умовами, які містять шукану функцію (задача Діріхле) - крайові умови I роду, або її похідні (задача Неймана) - крайові умови II роду, або функцію та її похідні (змішана задача) - крайові умови III роду.

Маючи на увазі вищезгадану класифікацію, слід зазначити, що одним з переконливих доводів на користь застосування змішаного варіаційного принципу Рейсснера є те, що практично всі варіанти з існуючого в теорії оболонок різноманіття формулювань крайових умов (в тому числі які є для функціоналів Лагранжа і Кастільяно крайовими умовами II та III роду) стають при використанні функціоналу Рейсснера крайовими умовами I роду в силу незалежності вектора \mathbf{u} і тензора σ . Зазначена обставина істотно спрощує побудову структур розв'язань досліджуваних крайових задач.

Незважаючи на те, що геометричні і статичні граничні умови є природними для функціонала Рейсснера, для поліпшення збіжності обчислювального процесу координатні функції доцільно підкорити всім граничним умовам. У такому випадку відповідно сформульованої і доведеної автором роботи [315] *теоремі про достатню ознаку збіжності методу Рітца для функціонала Рейсснера*, по-перше, послідовності Рітца для неекстремального функціонала Рейсснера I_R сходять по енергії оператора задачі до точного розв'язку; по-друге, полегшується пошук наближеного розв'язку, оскільки необхідну точність при порівнянні збіжності можна одержати при меншому числі координатних функцій, а це знижує накопичення погрешностей і обчислювальні витрати; по-третє, у випадку точного задоволення структур розв'язків усім крайовим умовам поверхневі інтеграли у варіаційному рівнянні Рейсснера зникнуть, що приводить до спрощення системи рівнянь Рітца, симетрична матриця якої вже має стрічкову структуру із шириною стрічки, залежної від індексації шуканих функцій.

Один із можливих шляхів оцінки прийнятності уточнених теорій оболонок полягає в зіставленні отриманих на їхній основі розв'язань із результатами розв'язання тривимірних задач. Результати такого зіставлення, природно, не дають остаточної відповіді на питання про придатність обраної наближеної

теорії у всіх випадках, однак проведення таких зіставлень у широкому діапазоні зміни параметрів дає можливість із більшим ступенем упевненості й обґрунтованості вказати ті значення параметрів, при яких виконуються прийняті припущення. Загальна ідея побудови прикладної теорії оболонок полягає в апроксимації шуканих компонентів переміщень u_i і напружень σ_{ij} кінцевими рядами вигляду (при $i = 1, 2$; $j = \overline{1, 3}$):

$$\left. \begin{aligned} u_i &= \sum_{k=0}^{l_i-1} u_{ik}(\alpha_1, \alpha_2) P_k(z); & u_3 &= \sum_{k=0}^{l_3-1} u_{3k}(\alpha_1, \alpha_2) P_k(z); \\ \chi_{3-i} \sigma_{ij} &= \sum_{k=0}^{l_{ij}-1} \sigma_{ij}^k(\alpha_1, \alpha_2) P_k(z); & \chi_1 \chi_2 \sigma_{33} &= \sum_{k=0}^{l_{33}-1} \sigma_{33}^k(\alpha_1, \alpha_2) P_k(z), \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

де $P_k(z)$ – апроксимуючі функції, у якості яких в основному застосовуються ступені координати z , поліноми Лежандра й тригонометричні функції; $\chi_i = 1 + z/R_i$; R_i – головні радіуси кривини (при $i = 1, 2$) поверхні Ω_s .

Умова стаціонарності змішаного функціонала Рейсснера I_R для розрахункової пружної області Ω оболонки, а також структури розв'язань, які точно задовольняють всім геометричним і статичним крайовим умовам тривимірної задачі, можуть мати вигляд, представлений у роботі [307], де науково обґрунтована доцільність здійснення пошуку точки стаціонарності функціонала I_R на класі напружень і переміщень, що задовольняють крайовим умовам. При цьому уведені в (16) числа l_i, l_{ij} апроксимацій компонент переміщень u_i і напружень σ_{ij} по товщині оболонки визначають її зсувну модель, вибір якої відповідає комбінації величин $(l_1, l_3, l_{11}, l_{13}, l_{33})$ при $i = 1, 2$.

Вирішення проблеми вірогідності результатів розв'язання задач прямими методами залежить від ефективності контролю збіжності. У роботі [316] запропонована заснована на теорії подвійності опуклого аналізу апостеріорна інтегральна оцінка точності чисельних розв'язків, одержуваних при відшукуванні точки стаціонарності неекстремального функціонала Рейсснера I_R . Можна показати, що існує і є єдиною для лагранжіана $L(\mathbf{u}, \boldsymbol{\sigma})$ сідлова точка $(\bar{\mathbf{u}}, \bar{\boldsymbol{\sigma}})$,

компоненти якої будуть розв'язками основної варіаційної задачі для функціонала Лагранжа I_L й двоїстої – для функціонала Кастильяно I_C . Справедлива доведена в роботі [316] рівність:

$$I_L(\bar{\mathbf{u}}) = I_R(\bar{\mathbf{u}}, \bar{\boldsymbol{\sigma}}) = I_C(\bar{\boldsymbol{\sigma}}). \quad (17)$$

Згідно з (17) задача мінімізації функціонала I_L та двоїста їй задача максимізації функціонала I_C еквівалентні задачі визначення сідлової точки функціонала I_R . Цей висновок покладений в основу апостеріорної оцінки [316] наближених розв'язків для компонентів \mathbf{u} і $\boldsymbol{\sigma}$. У результаті порівняння величин трьох функціоналів можна побудувати алгоритм регулярного уточнення розв'язків за рахунок послідовного вибору кількості апроксимацій шуканих функцій поки рівність (17) не буде виконана з наперед заданою точністю.

Для дослідження збіжності числено-аналітичного RVR-методу бажано найбільш повно охопити всі наявні для цього можливості, оскільки оцінка точності обчислення функціоналів не гарантує тієї самої точності для шуканих переміщень і напружень, одержуваних з наближених розв'язків. Зокрема, безсумнівний інтерес представляє перевірка виконання фізичних співвідношень пружності, які при розв'язанні варіаційної задачі задовольняються приблизно через те, що для функціонала Рейсснера ці співвідношення є природними диференціальними рівняннями Ейлера вигляду:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial \alpha_j} + \frac{\partial u_j}{\partial \alpha_i} \right) - a_{ijkl} \sigma_{kl} = 0, \quad (18)$$

де a_{ijkl} – компоненти тензора піддатливості \mathbf{a} матеріалу оболонки.

За допомогою ефективного варіаційного RVR-методу розглянемо декілька прикладів чисельної реалізації пропонованого методу.

Приклад 1. Розглянемо циліндр товщини h ($-h/2 \leq z \leq h/2$) і довжини $2a$ (при $-a \leq \alpha_1 \leq a$). Ізотропний нетонкий циліндр має вільні торці та зовнішню поверхню ($r = R + h/2$), а на ділянці $-b \leq \alpha_1 \leq b$ внутрішньої поверхні

($r = R - h/2$) діє рівномірний тиск p_1 . Розрахунок виконаний при наступних даних: $E = 210$ ГПа; $\nu = 0,3$; $a = 0,5$ м; $h = 0,06$ м; $R = 0,6$ м; $p_1 = 1$ МПа.

Залежно від обраної зсувної моделі у таблиці 1 представлені результати обчислень у перетині $\alpha_1 = 0$ переміщень u_3^- , u_3^0 , u_3^+ (аналогічно напружень) відповідно при $z = -h/2$, $z = 0$, $z = h/2$.

Таблиця 1.

Значення шуканих величин у залежності від товщини циліндра та обраної зсувної моделі оболонки

| h/R | $(l_1, l_3, l_{11}, l_{13}, l_{33})$ | $u_3^-,$ МКМ | $u_3^0,$ МКМ | $u_3^+,$ МКМ | $\sigma_{22}^-,$ МПа | $\sigma_{22}^0,$ МПа | $\sigma_{22}^+,$ МПа | $\sigma_{33}^0,$ МПа |
|---------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\frac{1}{5}$ | (2,1,2,1,0) | 12,55 | 12,55 | 12,55 | 3,813 | 4,238 | 4,664 | -0,450 |
| | (2,2,2,2,1) | 13,05 | 12,56 | 12,06 | 4,012 | 4,249 | 4,486 | -0,442 |
| | (2,3,2,3,2) | 13,01 | 12,56 | 12,03 | 4,003 | 4,245 | 4,487 | -0,442 |
| | (3,1,3,1,0) | 12,55 | 12,55 | 12,55 | 3,783 | 4,252 | 4,637 | -0,450 |
| | (4,2,4,2,1) | 13,05 | 12,57 | 12,07 | 4,036 | 4,237 | 4,510 | -0,450 |
| | (4,3,4,3,2) | 13,02 | 12,57 | 12,04 | 4,018 | 4,240 | 4,506 | -0,450 |
| | (7,7,7,7,7) | 13,02 | 12,57 | 12,04 | 4,014 | 4,240 | 4,504 | -0,450 |
| 1 | (2,1,2,1,0) | 1,046 | 1,046 | 1,046 | 0,287 | 0,289 | 0,290 | -0,250 |
| | (2,2,2,2,1) | 1,458 | 0,989 | 0,520 | 0,497 | 0,314 | 0,131 | -0,179 |
| | (2,3,2,3,2) | 1,654 | 0,891 | 0,705 | 0,495 | 0,312 | 0,129 | -0,183 |
| | (3,1,3,1,0) | 1,045 | 1,045 | 1,045 | 0,286 | 0,289 | 0,290 | -0,250 |
| | (4,2,4,2,1) | 1,483 | 0,986 | 0,489 | 0,574 | 0,286 | 0,145 | -0,204 |
| | (4,3,4,3,2) | 1,684 | 0,891 | 0,703 | 0,700 | 0,248 | 0,202 | -0,203 |
| | (9,9,9,9,9) | 1,744 | 0,894 | 0,655 | 0,776 | 0,252 | 0,200 | -0,207 |

Наведені в таблиці чисельні результати отримані на основі застосування зсувних моделей, що відповідають відомим у науковій літературі уточненим теоріям оболонок. Так, варіантам (3,1,3,1,0) і (4,2,4,2,1) відповідають теорія пологих оболонок і прикладна теорія оболонок В.В. Пікуля [317]; (2,1,2,1,0) і (4,3,4,3,2) - теорія типу Тимошенка й прикладна теорія [318]; (2,2,2,2,1)

відповідає уточнена модель анізотропних оболонок [319], а (2,3,2,3,2) - теорія типу Рейсснера-Нагді [311]. Розподіл у перетині $\alpha_1 = 0$ переміщення u_3 й напруження σ_{33} по товщині ($|\zeta| = 2|z|/h \leq 1$) показано на рис. 3 (цифри на графіках відповідають числам апроксимацій l_i при $l_{ij} = l_i$). Трикутниками позначені результати, до яких асимптотично збігаються наближені розв'язання, а кружками - результати, обчислені згідно відомим для задачі Ламе аналітичним розв'язанням, застосування яких для циліндра, навантаженого тиском не по всій бічній поверхні, може привести до невірних результатів.

Всі використовувані теорії дають практично однакові результати для оболонки тонкої ($h/R < 1/5$). З аналізу результатів таблиці 1 випливає, що для оболонки середньої товщини переважніше використовувати теорію [319] – зсувну модель (2,2,2,2,1), яка у порівнянні з (2,1,2,1,0) і (3,1,3,1,0) дає кращі результати у всьому діапазоні зміни товщини оболонки.

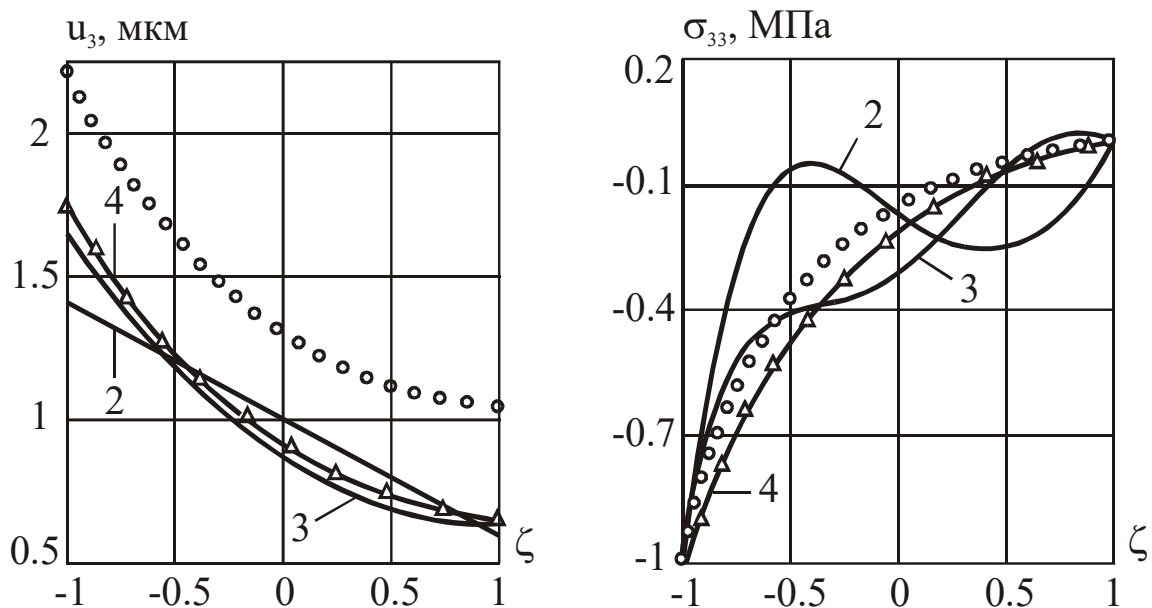


Рисунок 3. Розподіл переміщення u_3 й напруження σ_{33} по товщині циліндра

Використання більш складної теорії Рейсснера-Нагді [311] – зсувна модель (2,3,2,3,2) – дає однакові з теорією [319] значення напружень і практично точні значення радіального переміщення u_3 . Нарешті, найбільш точну й саму складну (з розглянутих варіантів) зсувну модель (4,3,4,3,2) має сенс застосовувати (у випадку збереження в теорії [318] доданків порядку $h/2R$ в порівнянні з

одиницею) для оболонок нетонких. Відповідно до роботи [307] теорія [318] може ефективно використовуватися при розв'язанні складних крайових завдань і для товстостінних анізотропних оболонок.

Приклад 2. Розглянемо вільно обпертий по торцях пружний циліндр довжини a і товщини h , навантаженого уздовж осі α_1 внутрішнім тиском:

$$q_3^- = -q_0 \sin(\gamma x_1); \quad \gamma = n\pi/a. \quad (19)$$

З'ясуємо вплив вибору моделі оболонки на точність виконання фізичних співвідношень (18), що представляють аналітичні вирази перед варіаціями компонентів тензора напружень σ у варіаційному рівнянні Рейсснера.

Таблиця 2.

Чисельні результати для ε_{11}^k , ε_{11}^f , g_{11} , ε_{22}^k , ε_{22}^f і g_{22}

| (l_i, l_{ii}) | ζ | $\varepsilon_{11}^k \cdot 10^6$ | $\varepsilon_{11}^f \cdot 10^6$ | g_{11} | $\varepsilon_{22}^k \cdot 10^6$ | $\varepsilon_{22}^f \cdot 10^6$ | g_{22} |
|-----------------|---------|---------------------------------|---------------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|----------|
| (2,2) | -0,5 | 0,399829 | 0,511001 | 27,8% | 0,463247 | 0,322793 | 30,3% |
| | 0 | 0,548617 | 0,576863 | 5,1% | 0,354213 | 0,274820 | 22,4% |
| | 0,5 | 1,497063 | 1,611097 | 7,6% | 0,255562 | 0,344834 | 34,9% |
| (4,4) | -0,5 | 0,491604 | 0,498277 | 1,4% | 0,456735 | 0,437503 | 4,2% |
| | 0 | 1,147105 | 1,119041 | 2,4% | 0,311048 | 0,316980 | 1,9% |
| | 0,5 | 1,040397 | 1,075563 | 3,4% | 0,218336 | 0,227028 | 4,0% |
| (7,7) | -0,5 | 0,577162 | 0,577129 | 0,005% | 0,459970 | 0,460089 | 0,03% |
| | 0 | 1,044640 | 1,044206 | 0,004% | 0,306552 | 0,306130 | 0,1% |
| | 0,5 | 1,051798 | 1,052067 | 0,03% | 0,222546 | 0,222655 | 0,04% |

У табл. 2 і 3 представлені по товщині (при $\zeta = 2z/h = -0.5; 0; 0.5$ і $n = 10$) нетонкого ($h/R = 1/5$) циліндра значення деформацій ε_{ij} , обчислених по знайдених переміщеннях за допомогою співвідношень Коші – ε_{ij}^k і по знайдених напруженнях за допомогою фізичних співвідношень – ε_{ij}^f , а також відсоток відхилення $g_{ij} = 100 \cdot \left| \varepsilon_{ij}^k - \varepsilon_{ij}^f \right| / \left| \varepsilon_{ij}^k \right|$. При цьому співвідношення (18) у випадку точного розв'язку здобувають вигляд $\varepsilon_{ij}^k - \varepsilon_{ij}^f = 0$.

Таблиця 3.

Чисельні результати для ε_{33}^k , ε_{33}^f , g_{33} , ε_{13}^k , ε_{13}^f і g_{13}

| (l_i, l_{ii}) | ζ | $\varepsilon_{33}^k \cdot 10^6$ | $\varepsilon_{33}^f \cdot 10^6$ | g_{33} | $\varepsilon_{13}^k \cdot 10^6$ | $\varepsilon_{13}^f \cdot 10^6$ | g_{13} |
|-----------------|---------|---------------------------------|---------------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|----------|
| (2,2) | -0,5 | -1,717446 | -1,533087 | 10,7% | 5,705241 | 5,890870 | 3,3% |
| | 0 | -1,717446 | -1,620833 | 5,6% | 4,356362 | 5,378008 | 23,5% |
| | 0.5 | -1,717446 | -1,930253 | 12,4% | 3,007483 | 2,353035 | 21,7% |
| (4,4) | -0.5 | -2,836757 | -2,869214 | 1,1% | 4,661366 | 4,861136 | 4,3% |
| | 0 | -2,061863 | -2,057908 | 0,2% | 4,953778 | 4,814179 | 2,8% |
| | 0.5 | -1,194527 | -1,174107 | 1,7% | 3,387747 | 3,522763 | 4,0% |
| (7,7) | -0.5 | -3,127130 | -3,126791 | 0,01% | 5,076492 | 5,075608 | 0,02% |
| | 0 | -2,010297 | -2,009545 | 0,04% | 4,877213 | 4,875651 | 0,03% |
| | 0.5 | -0,997942 | -0,997842 | 0,01% | 3,291432 | 3,291405 | 0,0008% |

Чисельні результати, що представлені в табл. 2 і 3, показують добру збіжність одержуваних шуканих величин в залежності від порядку уточнення обраної моделі оболонки, яка задається комбінацією параметрів (l_i, l_{ii}) .

Приклад 3. Розглянемо навантажену сталом внутрішнім тиском q_0 сферичну оболонку товщини h з двома співвісними круговими отворами однакового радіуса r_0 . Положення довільної точки в оболонці будемо визначати введеними в її серединній поверхні Ω_s радіуса R криволінійними ортогональними координатами θ , φ і z (лінії головної кривини оболонки – її меридіани і паралелі). Тут θ – кут між нормаллю до Ω_s і віссю обертання; φ – кут між фіксованою і минаючою через розглянуту точку Ω_s меридіанними площинами; z – відстань уздовж нормалі до поверхні Ω_s ($-h/2 \leq z \leq h/2$).

Поверхня Γ сферичної оболонки з двома співвісними полюсними отворами складається з бічних поверхонь Γ_s ($\theta = \theta_s$, $s = 1, 2$) і двох лицьових внутрішньої Γ^- ($z = -h/2$) і зовнішньої Γ^+ ($z = h/2$) поверхонь, рівняння яких визначаються функціями ω_s і ω_- , ω_+ (при $\zeta = 2z/h$):

$$\omega_1 = \frac{\theta^2}{\theta_1^2} - 1; \quad \omega_2 = 1 - \frac{\theta^2}{\theta_2^2}; \quad \omega_+ = 1 - \zeta; \quad \omega_- = 1 + \zeta; \quad \omega_\zeta = \omega_+ \omega_- . \quad (20)$$

Граничні умови на лицьових поверхнях оболонки:

$$\Gamma^+ : \sigma_{13} = 0; \quad \sigma_{33} = 0, \quad \Gamma^- : \sigma_{13} = 0; \quad \sigma_{33} = t_3^- = -q_0 . \quad (21)$$

Нехай $\theta_0 = \pi/2$ – кут, що визначає площину, відносно якої симетричні полюсні отвори. Помістимо на лінії перетинання серединної поверхні Ω_s із площиною $\theta_0 = \pi/2$ початок безрозмірної координати $\vartheta = (\theta - \theta_0)/(\theta_0 - \theta_1)$. Інтервал значень ϑ визначається виразом $|\vartheta| \leq 1$ при зміні кута θ від $\theta = \theta_1$ до $\theta = \theta_2$ (рівняння бічних поверхонь першого і другого отворів відповідно). У силу осесиметричності задачі $u_2 = 0$, $\sigma_{12} = 0$ і $\sigma_{23} = 0$, тоді структури розв'язків для незалежних у функціоналі Рейсснера I_R шуканих компонентів переміщень u_i і напружень σ_{ij} здобувають вигляд (при $n_i = k(m_i + 1) + p + 1$; $n_i \Rightarrow n_{ij}$):

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \sum_{k=0}^{l_1-1} \sum_{p=0}^{m_1} a_1^{n_1} S(\vartheta) P_k(\zeta); & u_3 &= \sum_{k=0}^{l_3-1} \sum_{p=0}^{m_3} a_3^{n_3} C(\vartheta) P_k(\zeta); \\ \chi \sigma_{11} &= (1-\vartheta^2) \sum_{k=0}^{l_{11}-1} \sum_{p=0}^{m_{11}} a_{11}^{n_{11}} C(\vartheta) P_k(\zeta); & \chi \sigma_{22} &= \sum_{k=0}^{l_{22}-1} \sum_{p=0}^{m_{22}} a_{22}^{n_{22}} C(\vartheta) P_k(\zeta); \\ \chi \sigma_{13} &= \sigma_{13}^* + \omega_\zeta (1-\vartheta^2) \sum_{k=0}^{l_{13}-1} \sum_{p=0}^{m_{13}} a_{13}^{n_{13}} S(\vartheta) P_k(\zeta); \\ \chi^2 \sigma_{33} &= \sigma_{33}^* + \omega_\zeta \sum_{k=0}^{l_{33}-1} \sum_{p=0}^{m_{33}} a_{33}^{n_{33}} C(\vartheta) P_k(\zeta), \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

де $a_i^{n_i}$, $a_{ij}^{n_{ij}}$ – шукані сталі; $C(\vartheta)$ и $S(\vartheta)$ – парна та непарна апроксимуючі функції ϑ ; $P_k(\zeta)$ – поліноми Лежандра; $\omega_\zeta = \omega_+ \omega_-$;

$$\sigma_{13}^* = -\frac{3Q_\theta^*}{2h} (1-\zeta^2) \vartheta, \quad \sigma_{33}^* = -\frac{1}{2} (1-h/2R)^2 \omega_+ q_0 . \quad (23)$$

Позначимо $p_0 = q_0 R / 2h$. Будемо вважати, що отвори закриті кришками такої конструкції, що передає на оболонку тільки дію поперечної сили Q_θ^* , величину якої визначимо з умови рівноваги кришки:

$$2\pi r_0 Q_\theta^* + q_0 \pi r_0^2 = 0; \quad Q_\theta^* = -\frac{q_0 r_0}{2} = -\frac{p_0 h r_0}{R}. \quad (24)$$

Уведемо зведені переміщення \tilde{u}_i і напруження $\tilde{\sigma}_{ij}$:

$$\tilde{u}_i = \frac{100u_i}{h}; \quad \tilde{\sigma}_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{q_0}, \quad (25)$$

що набирають в результаті обчислення при $\zeta = -1$, $\zeta = 0$ або $\zeta = 1$ вигляду \tilde{u}_i^- , \tilde{u}_i^0 або \tilde{u}_i^+ відповідно (аналогічно $\tilde{\sigma}_{ij}^-$, $\tilde{\sigma}_{ij}^0$ або $\tilde{\sigma}_{ij}^+$).

Зведені напруження $\tilde{\sigma}_{11}$ ($\tilde{\sigma}_\theta$) і $\tilde{\sigma}_{22}$ ($\tilde{\sigma}_\varphi$), що визначають за формулами (25) збігаються з точністю до множника $2h/R$ з використовуваними в науковій практиці коефіцієнтами концентрації k_θ та k_φ :

$$k_\theta = \frac{\sigma_\theta}{p_0} = \frac{\sigma_{11}}{q_0} \frac{2h}{R} = \tilde{\sigma}_{11} \frac{2h}{R}; \quad k_\varphi = \frac{\sigma_\varphi}{p_0} = \frac{\sigma_{22}}{q_0} \frac{2h}{R} = \tilde{\sigma}_{22} \frac{2h}{R}. \quad (26)$$

Як і в попередніх прикладах, числа l_i , l_{ii} апроксимацій компонент вектора \mathbf{u} і тензора $\boldsymbol{\sigma}$ по товщині досліджуваної оболонки задають її модель, вибір якої визначається (при $i = 1, 2$) комбінацією величин $(l_1, l_3, l_{ii}, l_{13}, l_{33})$.

Обмежуючись у структурах розв'язків (22) для шуканих компонентів переміщень u_i і напружень σ_{ij} тим або іншим числом членів, ми, вочевидь, одержуватиме наближені вирази, які тим краще апроксимують дійсні переміщення й напруження, чим більше утримано членів у відповідних розкладаннях за умови збіжності рядів. Однак варто мати на увазі, що при використанні прикладних теорій оболонок відповідні цим теоріям математичні операції зазвичай виконані при втриманні в кінцевих рядах (22) лише декількох членів, тому побудовані таким методом теорії, замінюючи розв'язання тривимірного задачі деякою двовимірною задачею, не містять регулярного процесу уточнення і мають певну область свого застосування.

Розглянемо ортотропний сферичний пояс із геометричними і фізичними параметрами (при різних величинах співвідношення E_2/E_1):

$$\left. \begin{aligned} R = 0.6 \text{ м}; \quad \theta_1 = \pi/4; \quad \theta_2 = 3\pi/4; \quad q_0 = 1 \text{ МПа}; \\ E_1 = E_3 = 20E_0; \quad G_{13} = E_0; \quad \nu_{ij} = 0.3; \quad E_0 = 1 \text{ ГПа}. \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

У результаті чисельної реалізації сформульованої задачі на рис. 4 і 5 для нетонкої (при $h/R = 0.2$) оболонки показані уздовж безрозмірної координати $r_\theta = 1 + (\theta - \theta_1)R/r_0$ по меридіану оболонки графіки розподілу зведених переміщень $\tilde{u}_1^0 = 100u_1^0/h$ і $\tilde{u}_3^0 = 100u_3^0/h$ та коефіцієнтів концентрації напружень $k_\theta^- = \sigma_{11}^-/p_0$ (при $\zeta = -1$) і $k_\phi^+ = \sigma_{22}^+/p_0$ (при $\zeta = 1$) залежно від анізотропії матеріалу оболонки. Цифри 1, 2, 3, 4, 5 біля побудованих графіків рис. 4 і 5 відповідають значенням співвідношення $E_2/E_1 = 4, 2, 1, 0.5, 0.25$, а штриховою лінією показаний графік для трансверсально-ізотропної ($E_2/E_1 = 1$) оболонки.

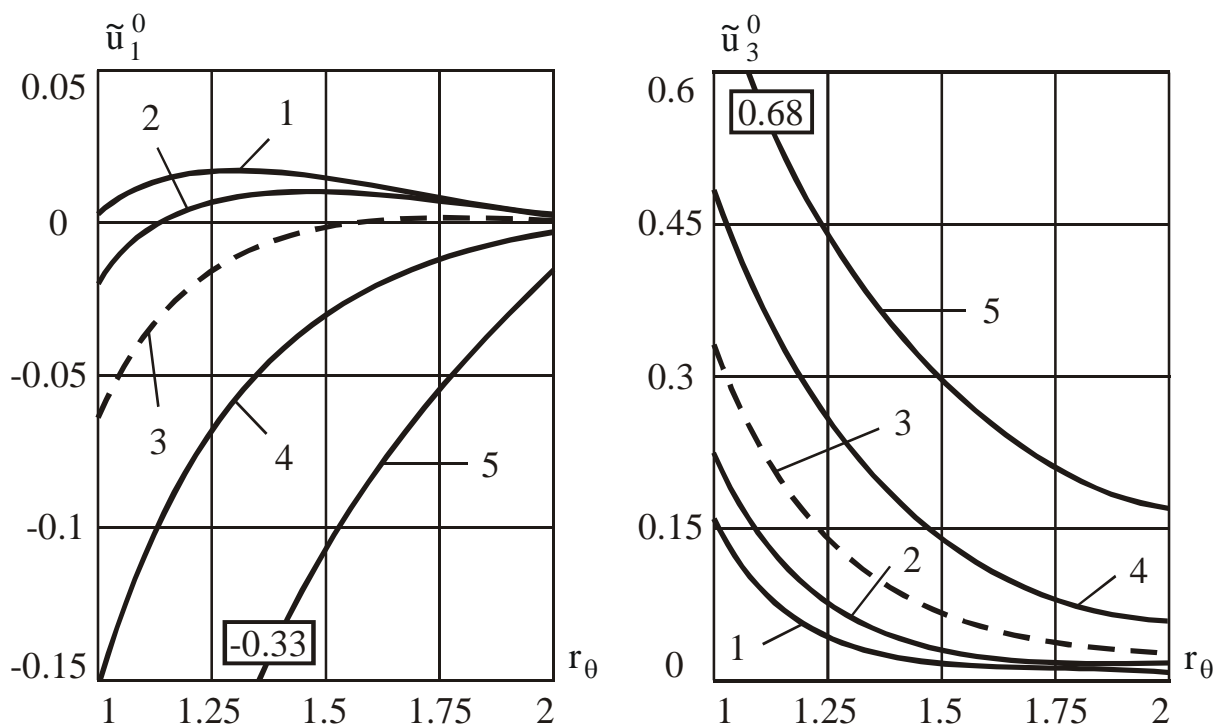


Рисунок 4. Графіки наведених переміщень \tilde{u}_1^0 і \tilde{u}_3^0

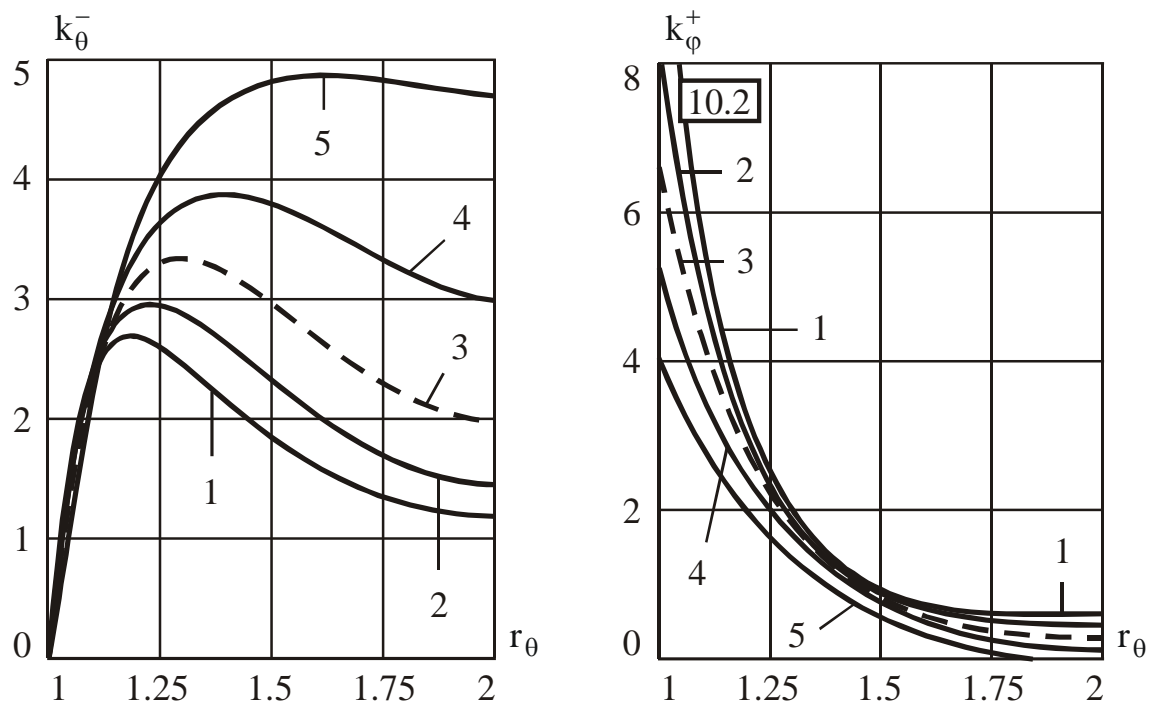


Рисунок 5. Графіки коефіцієнтів концентрації напружень k_{θ}^{-} і k_{ϕ}^{+}

У чисельній реалізації досліджуваної крайової задачі використана зсувна модель $l_i = l_{ij} = 5$ (при $m_i = m_{ij} = 15$) уточненій теорії оболонок п'ятого наближення. Як випливає із рис. 4 і 5, збільшення жорсткості E_2/E_1 в інтервалі $[0.25 \div 4]$ приводить у розглянутих прикладах до істотної зміни величин переміщень і напружень.

Ефективність і можливості варіаційного RVR-методу підтверджені успішним розв'язанням низки прикладних задач [14 ÷ 17] при проектуванні відповідальних оболонкових елементів конструкцій в різних галузях сучасної техніки. При цьому програмно здійснюваний в RVR-методі алгоритм [316] апостеріорної інтегральної оцінки точності чисельних розв'язків досліджуваних задач може стати надійним засобом перевірки достовірності одержуваних результатів, оскільки дозволяє автоматизувати пошук такої кількості апроксимацій, при якому процес збіжності розв'язків здобуває стійкий характер.

SECTION 10. MECHANICS

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.10.1

10.1 Вплив пружного зовнішнього середовища на динамічну поведінку тришарових неоднорідних конічних оболонок при нестационарних навантаженнях

Високий рівень сучасного науково-технічного прогресу в машинобудуванні, будівництві, авіаційній і оборонній промисловості, атомній енергетиці та в інших галузях техніки став результатом використання в машинах, конструкціях і устаткуваннях композитних матеріалів і шаруватих оболонок різних форм.

Проте, не достатньо дослідженими залишаються задачі оцінки динамічної взаємодії однорідних та неоднорідних конічних оболонкових структур з пружними середовищами. Дослідженню взаємодії таких елементів конструкцій з пружними основами присвячена значна кількість публікацій [324-329]. В них в основному розглядаються тришарові оболонки на основі гіпотез Вінклера [332] – найбільш простої моделі пружного середовища, для опису якої достатньо лише одного коефіцієнта постелі (пружної основи). І в багатьох випадках такий підхід забезпечує позитивний розв’язок ряду важливих практичних задач. Зв’язок між реакцією пружного середовища $\tilde{R}(x, s, t)$ і радіальними переміщеннями точок серединної поверхні оболонки $u_3(x, s, t)$ у випадку моделі Вінклера має вигляд:

$$\tilde{R}(x, s, t) = C_1 u_3(x, s, t),$$

де C_1 – коефіцієнт постелі пружної основи, який характеризує роботу на розтяг - стиск; x, s – основа та колова координата серединної поверхні циліндричної оболонки і t – часова координата.

Більш близько до дійсності апроксимує вплив пружного середовища двопараметрична модель пружної основи [331], в якій зв’язок між реакцією пружного середовища і радіальними зміщеннями точок серединної поверхні шаруватої структури, зокрема циліндричної оболонки, має вигляд:

$$\tilde{R}(x, s, t) = C_1 u_3(x, s, t) + C_2 \left(\frac{\partial^2 u_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_3}{\partial s^2} \right),$$

де C_2 – коефіцієнт постілі, який характеризує роботу пружної основи на зсув.

Модель двох коефіцієнтів постілі, завдяки врахуванню опору зсуву, дає можливість врахувати розподільчу властивість основи.

Результати досліджень коливань тришарових конічних оболонок з дискретно-симетричним заповнювачем при нестационарних навантаженнях різного виду приведені в роботах [327, 330, 339, 344, 345]. Виведені рівняння коливань таких оболонок з відповідними граничними та початковими умовами, побудовані їх чисельні алгоритми на основі скінченно-елементної апроксимації рівнянь за просторовими та часовими координатами. Наведені чисельні результати розрахунків.

Останнім часом, однак, з'явилися нові вимоги до шаруватих конструкцій, пов'язані із властивостями сучасних матеріалів [336] та ін.

Необхідність одночасного врахування цілого ряду, часом суперечливих, вимог диктує ідею розробки багатошарових конструкцій, в яких кожен шар виконує тільки одну або декілька функцій. При цьому окремі шари структури можуть відрізнятися як по товщині, так і за фізико-механічними властивостями, тобто шаруватий пакет може бути істотно неоднорідним. В даній роботі розглядаються тришарові конічні оболонки під впливом зовнішнього пружного середовища з врахуванням неоднорідності легкого заповнювача, армованого дискретно-симетричними ребрами, розташованими по лініях головних кривизн і з'єднуючих несучі шари, при роботі структури в умовах вимушених динамічних навантажень. При цьому розміри армуючих ребер є значно меншими ніж відстані між ними. Використання в заповнювачі матеріалів з низькими масовими характеристиками дозволяє, при порівняно невеликому збільшенні ваги конструкції, істотно підвищити її згинальну жорсткість і таким чином застосовувати теорію шаруватих оболонок з використанням незалежних гіпотез для кожного із шарів [333]. Це підвищує загальний порядок системи

розрахункових рівнянь, але дозволяє детальніше визначити динамічну поведінку тришарової структури при вимушених динамічних навантаженнях.

В основу рішення даної задачі покладена теорія оболонок і стрижнів, заснована на зсувній моделі С.П. Тимошенка, передбачаючій використання незалежних гіпотез для кожного окремого шару структури. Для виведення рівнянь коливань структури використовується варіаційний принцип стаціонарності Гамільтона—Остроградського. Чисельне моделювання динаміки досліджуваних оболонок і розрахунки виконуються скінченно-елементним методом.

§1. При виконанні поставлених задач використовується дискретно-симетрична неоднорідна по товщині пружна структура конічного типу (рис. 1),

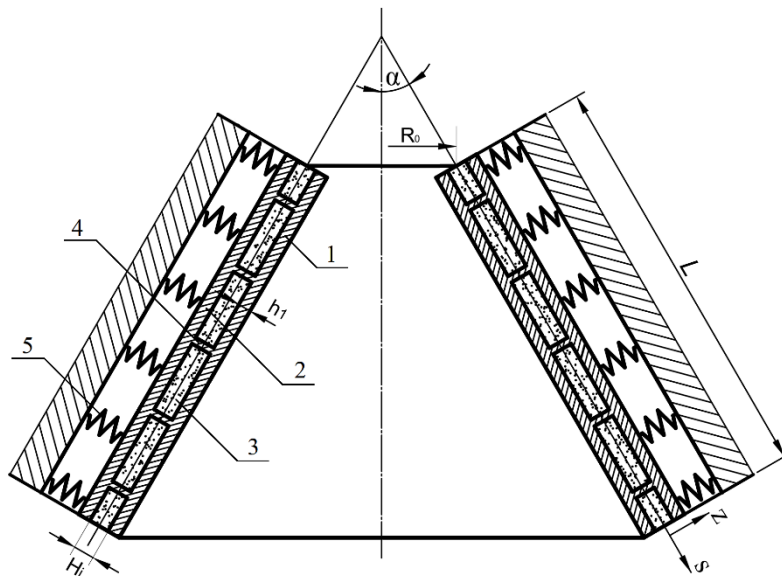


Рисунок 1. Конструкція тришарової конічної оболонки з полімерним заповнювачем армованим ребрами жорсткості:

- 1 – внутрішній шар; 2 – зовнішній шар; 3 – полімерний заповнювач (t);
4 – армуючі ребра (j); 5 – пружне середовище Вінклера

яка складається з внутрішньої і зовнішньої гладких конічних оболонок (несучих шарів) з відповідними товщинами і радіусами. Серединні лінії оболонки паралельні, тобто мають загальний кут конусності α . Конструкція досліджуваної структури складається з внутрішнього (індекс 1), зовнішнього (індекс 2) несучих шарів, легкого заповнювача (індекс t) і набору дискретних ребер (індекс j), жорстко з'єднаних з зазначеними несучими шарами. Оболонка має постійну

загальну товщину h з гладкою серединною поверхнею в ортогональній системі координат s, z . Координатна лінія s на серединній поверхні оболонки при $z = 0$ збігається з твірною лінією; координатна лінія z ортогональна до серединної поверхні. Вважається, що її величина є позитивною, якщо розглядаємо точка знаходиться з боку опуклості серединної поверхні. При дослідженнях вісесесиметричних коливань структури використовується система координат s, t , причому координата s відраховується від вершини конуса, а у випадку зрізаної конічної оболонки, більш зручним є використання координати s , яка відраховується від краю оболонки з радіусом R_0 . В цьому випадку поточний радіус конічної оболонки визначається згідно формули: $R_s = R_0 + s \cdot \sin \alpha$, де α – кут конусності. Коефіцієнти першої квадратичної форми і кривизни координатної поверхні конічної оболонки мають наступні значення: $A_1 = 1, A_2 = R_s, k_1 = 0, k_2 = \cos \alpha / R_s$. Так як шари оболонки жорстко з'єднані між собою дискретними ребрами і легким заповнювачем їх деформований стан може бути визначений через компоненти узагальненого вектора переміщень $\bar{U}_1 = (u_s^1, u_3^1, \varphi_1^1)^T$ і $\bar{U}_2 = (u_s^2, u_3^2, \varphi_1^2)^T$ [335]. Поля переміщень заповнювача в цьому випадку визначаються узагальненим вектором переміщення – $\bar{U}_i = (u_s^i, u_3^i, \varphi_1^i)^T$ згідно розрахунковій моделі, запропонованій в [340]. А деформований стан армуючого ребра, спрямованого вздовж окружної координати, визначається узагальненим вектором переміщень $\bar{U}_j = (u_1^j, u_3^j, \varphi_1^j)^T$. На основі теорії деформації зсуву в оболонках [335], переміщення u_1^i і u_3^i в несучих шарах в напрямку s (поздовжній), z (товщина) і t (час) при малих лінійних переміщеннях виражаються через наступні залежності:

$$\begin{aligned} u_1^i(s, z, t) &= u_0^i(s, t) + z_i \phi_1^i(s, t); \\ u_3^i(s, z, t) &= u_{03}^i(s, t), \quad i = 1, 2, \end{aligned} \quad (1.1)$$

де ϕ_1^i – кут повороту нормалі до серединної поверхні несучих шарів.

При цьому деформаційні співвідношення несучих шарів і j -го ребра приймаються у вигляді:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \frac{\partial u_0}{\partial s_1}; \varepsilon_{22} = \frac{1}{A_2} \frac{\partial A_2}{\partial s_1} u_0 + k_2 u_{03}; \\ \varepsilon_{13} &= \phi_1 + \frac{\partial u_{03}}{\partial s_1}; \kappa_{11} = \frac{\partial \phi_1}{\partial s_1}; \kappa_{22} = \frac{1}{A_2} \frac{\partial A_2}{\partial s_1} \phi_1; \varepsilon_{22j} = \frac{u_{3j}}{R_j} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Виходячи з припущення жорсткого з'єднання армуючих ребер з несучими шарами оболонки, умови контакту центрів ваги ребер з несучих шарів мають вид

$$u_1^j = u_1^{jk}(s_j) \mp \frac{H_j}{2} \varphi_1^{jk}(s_j); u_3^j = u_3^{jk}(s_j); \varphi_1^j = \varphi_1^{jk}(s_j), k = 1, 2, \quad (1.3)$$

де s_j – координата лінії множин точок проєкцій центрів тяжіння поперечних перерізів j -го ребра на відповідну серединну поверхню несучого шару;

$h_j^i = 0,5h_i + \frac{H_i}{2}$, $h_i (i = 1, 2)$ – товщини несучих шарів; $\frac{H_j}{2}$ – відстань від осі j -го ребра до поверхні гладких оболонок; товщина легкого заповнювача $h_t = H_j$.

Вирази для переміщень легкого заповнювача формулюються згідно моделі, приведеної в роботі [338]:

$$\begin{cases} u_1^t(s, z, t) = \left(1 + \frac{z_t}{R_t}\right) u_0^t(s, t) + z_t u_1^t(s, t); \\ u_3^t(s, z, t) = u_0^t(s, t). \end{cases} \quad (1.4)$$

Кінематичні залежності для такого заповнювача прийняті на основі малих деформацій і мають наступний вид:

$$\varepsilon_{11}^t = \frac{\partial u_0^t}{\partial s} + z \frac{\partial u_1^t}{\partial s}; \varepsilon_{22}^t = \frac{u_{03}^t}{R_{st} + z_t}; 2\varepsilon_{13}^t = \frac{\partial u_{03}^t}{\partial s} + u_1^t; \kappa_{11}^t = \frac{\partial u_1^t}{\partial s}. \quad (1.5)$$

Умови сумісності, елементів структури передбачають ідеальне сполучення між заповнювачем і несучими шарами без відриву і проковзування, представлені в наступному вигляді [342]:

$$\begin{cases} u_0^t(z = z_t^1) = u_0^i + \frac{1}{2}(-1)^k h_i \varphi_1^i; \text{ Для } i = 1 \rightarrow (k = 0; z_t^1 = -\frac{h_t}{2}); \\ u_{03}^t = u_{03}^i; \quad \text{Для } i = 2 \rightarrow (k = 1; z_t^2 = \frac{h_t}{2}). \end{cases} \quad (1.6)$$

Використовуючи вирази для поля переміщень несучих шарів (1.2), легкого заповнювача (1.4) і міжшарової неперервності переміщень (1.6), спрощені умови сумісності представляються як:

$$\begin{aligned} u_0^t &= \frac{u_0^1 + u_0^2}{2} - \frac{1}{4}(h_2 \varphi_1^2 - h_1 \varphi_1^1); \\ u_1^t &= \frac{u_0^1 - u_0^2}{h_t} - \frac{1}{2h_t}(h_2 \varphi_1^2 + h_1 \varphi_1^1); \quad u_{03}^t = \frac{1}{2}(u_{03}^1 + u_{03}^2). \end{aligned} \quad (1.7)$$

Рівняння руху для несучих шарів і легкого заповнювача виводяться згідно варіаційного принципу стаціонарності Гамільтона - Остроградського, згідно з яким

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (K - \Pi + A) dt = 0, \quad (1.8)$$

де Π – повна потенційна енергія пружної системи оболонка – навколишнє середовище, K – повна кінетична енергія пружної системи, A – робота зовнішніх сил, t_1 і t_2 – фіксовані моменти часу.

При виведенні рівнянь коливань тришарових оболонок з легким заповнювачем незалежному варіюванню підлягають: компоненти переміщень несучих шарів, армуючих ребер, заповнювача з легкого матеріалу і пружного середовища.

Вирази для варіацій повної потенціальної і кінетичної енергії вказаних компонентів записуються у вигляді:

$$\begin{aligned} \delta \Pi &= \delta \sum_{i=1}^2 \Pi^i + \delta \sum_{j=1}^J \Pi^j + \delta \sum_t \Pi^t + \delta \sum_{i=2} \Pi^f; \\ \delta K &= \delta \sum_{i=1}^2 K^i + \delta \sum_{j=1}^J K^j + \delta \sum_{S_i} K^t, \end{aligned} \quad (1.9)$$

де

$$\delta \Pi^i = \int_{S_i} \left[\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (T_{11}^i \delta \varepsilon_{11}^i + T_{22}^i \delta \varepsilon_{22}^i + T_{13}^i \delta \varepsilon_{13}^i + M_{11}^i \delta \kappa_{11}^i) dz_i \right] dS_i \quad (1.10)$$

$$\delta\Pi^t = \int_{S_t} \left[\int_{-\frac{h_t}{2}}^{\frac{h_t}{2}} (T_{11}^t \delta\varepsilon_{11}^t + T_{22}^t \delta\varepsilon_{22}^t + T_{13}^t \delta\varepsilon_{13}^t + M_{11}^t \delta\kappa_{11}^t) dz_t \right] dS_t \quad (1.11)$$

$$\delta\Pi^j = \int_{L_j} T_{22}^j \delta\varepsilon_{22}^j dL_j \quad (1.12)$$

$$\delta\Pi^f = \int_{S_2} [C_1 u_{03}^2 \delta u_{03}^2 + C_2 \left(\frac{\partial u_{03}^2}{\partial x}\right) \delta \left(\frac{\partial u_{03}^2}{\partial x}\right)] dS_2 \quad (1.13)$$

$$\delta K^i = \int_{S_i} \left\{ \int_{-\frac{h_i}{2}}^{\frac{h_i}{2}} \left[\rho_i h_i \left(\frac{\partial^2 u_0^i}{\partial t^2} \partial u_0^i + \frac{\partial^2 u_{03}^i}{\partial t^2} \partial u_{03}^i \right) + \rho_i \frac{h_i^3}{12} \left(\frac{\partial^2 \varphi_1^i}{\partial t^2} \partial \varphi_1^i \right) \right] dz_i \right\} dS_i \quad (1.14)$$

$$\delta K^t = \int_{S_t} \left[\int_{-\frac{h_t}{2}}^{\frac{h_t}{2}} \rho_t h_t \left(\frac{\partial^2 u_0^t}{\partial t^2} \partial u_0^t + \frac{\partial^2 u_1^t}{\partial t^2} \partial u_1^t + \frac{h_t^2}{12} \frac{\partial^2 u_{03}^t}{\partial t^2} \partial u_{03}^t \right) dz_t \right] dS_t \quad (1.15)$$

$$\delta K^j = \int_{L_j} \left[\rho_j F^j \left(\frac{\partial^2 u_1^j}{\partial t^2} \partial u_1^j + \frac{\partial^2 u_3^j}{\partial t^2} \partial u_3^j \right) + \rho_j \left(I_{kr}^j \frac{\partial^2 \varphi_1^j}{\partial t^2} \partial \varphi_1^j \right) \right] dL_j \quad (1.16)$$

В рівняннях (1.10) - (1.16) величини; F^j , I_{kr}^j відповідають геометричним характеристикам поперечних перетинів армуючих ребер, ρ_j – питома вага матеріалу армуючого ребра; ρ_i ($i = 1,2$) – питома вага матеріалу несучих шарів, а ρ_t – питома вага легкого заповнювача, C_1 , C_2 – коефіцієнти пружного середовища.

Вважається, що досліджувана структура навантажена внутрішнім вісесиметричним розподіленням нестационарним нормальним навантаженням $P_1(s,t)$, де s і t – просторова і часова координати.

Слід зазначити, що при розрахунку потенційної і кінетичної енергії для легкого заповнювача в виразах $\delta\Pi^t$ та δK^t інтегрування проводиться за об'ємом, величина якого збільшена на величину обсягу армуючих ребер. Але цей факт практично не впливає на загальний результат, оскільки обсяг армуючих ребер в складі об'єму легкого заповнювача для даної оболонки не перевищує більш ніж 5%.

При виведенні рівнянь коливань тришарових оболонок з легким заповнювачем незалежному варіюванні підлягають: компоненти переміщень

несучих шарів, армуючих ребер заповнювача з легкого матеріалу і пружного середовища.

Після стандартних перетворень в варіаційному рівнянні (1.8), з урахуванням співвідношень (1.9) - (1.16), отримуємо систему гіперболічних рівнянь руху 9-го порядку для тришарової симетричної конічної оболонки з легким заповнювачем, армованим дискретними ребрами, яка розташована в пружному середовищі при осесиметричному імпульсному навантаженні і граничні умови:

$$\frac{1}{A_2^1} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2^1 T_{11}^1) - \frac{1}{A_2^1} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2^1 T_{22}^1) - \frac{1}{R_t} T_{13}^t = \left(\rho h + \frac{\rho_t h_t}{3} \right) \frac{\partial^2 u_0^1}{\partial t^2} \quad (1.17)$$

$$\frac{1}{A_2^1} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2^1 M_{11}^1) - \frac{1}{A_2^1} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2^1 M_{22}^1) - T_{13}^1 - T_{13}^t = \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_1^1}{\partial t^2},$$

$$\frac{1}{A_2^1} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2^1 T_{13}^1) - k_2 T_{22}^1 + \frac{1}{R_t} T_{13}^t + P_1 = \rho h \frac{\partial^2 u_{03}^1}{\partial t^2},$$

$$\frac{1}{A_2^2} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_2^2 T_{11}^2) - \frac{1}{A_2^2} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_2^2 T_{22}^2) - \frac{1}{R_t} T_{13}^t = \left(\rho h + \frac{\rho_t h_t}{3} \right) \frac{\partial^2 u_0^2}{\partial t^2},$$

$$\frac{1}{A_2^2} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_2^2 M_{11}^2) - \frac{1}{A_2^2} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_2^2 M_{22}^2) - T_{13}^2 - T_{13}^t = \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_1^2}{\partial t^2},$$

$$\frac{1}{A_2^2} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_2^2 T_{13}^2) - k_2 T_{22}^2 + \frac{1}{R_t} T_{13}^t - C_1 u_3^2 + C_2 \frac{\partial^2 u_3^2}{\partial x^2} = \rho h \frac{\partial^2 u_{03}^2}{\partial t^2},$$

$$\cos \alpha \frac{\partial T_{11}^t}{\partial S} + \frac{1}{R_{ts}} (T_{11}^t - T_{13}^t) + \frac{8}{h_t^2} M_{13}^t = \rho_t h_t \frac{\partial^2 u_0^t}{\partial t^2}$$

$$\cos \alpha \frac{\partial M_{13}^t}{\partial S} - T_{13}^t + \frac{1}{R_{ts}} M_{13} = \rho_t h_t \frac{\partial^2 u_1^t}{\partial t^2};$$

$$\cos \alpha \frac{\partial T_{13}^t}{\partial S} - \frac{1}{R_{ts}} T_{11}^t = \rho_t h_t \frac{\partial^2 u_{03}^t}{\partial t^2};$$

$$[T_{11}^{i\pm}]_j = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{1j}^1}{\partial t^2}, [T_{13}^{i\pm}]_j = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{3j}^1}{\partial t^2}, [M_{11}^{i\pm} \mp h_j T_{11}^{i\pm}]_j = \rho_j I_{krj} \frac{\partial^2 \varphi_{1j}}{\partial t^2}, i=1,2; j=\overline{1,J}.$$

Це дві системи рівнянь дев'ятого порядку. На лініях розривів в рівняннях коливань (1.17) $[T_{11}^{i\pm}]_j$; $[T_{13}^{i\pm}]_j$; $[M_{11}^{i\pm} \mp h_j T_{11}^{i\pm}]_j$ - відповідають зусиллям-моментом, які діють на j-й дискретний елемент з боку несучих шарів. В шостому рівнянні системи (1.17) доданки $-C_1 u_3^2 + C_2$ означають дію пружної основи Пастернака на зовнішню несучу оболонку тришарової конічної оболонки.

Співвідношення між величинами зусиль–моментів та відповідними величинами деформацій для несучих шарів і армуючих ребер мають вигляд:

$$T_{11}^i = B_{11}^i(\varepsilon_{11}^i + \nu_2^i \varepsilon_{22}^i) \quad ; \quad T_{22}^i = B_{22}^i(\varepsilon_{22}^i + \nu_1^i \varepsilon_{11}^i) \quad ; \quad T_{13}^i = k^2 G_{13}^i \varepsilon_{13}^i \quad ;$$

$$M_{11}^i = D_{11}^i \kappa_{11}^i \quad ; \quad M_{22}^i = D_{22}^i \kappa_{22}^i \quad ; \quad T_{22j} = B_{22j} \varepsilon_{22j} \quad ,$$

E_i, G_{13}^i, ν_i – фізико-механічні параметри матеріалу несучих шарів;

k^2 – інтегральний коефіцієнт поперечного зсуву теорії оболонок С.П. Тимошенка; E_j, F_j – модуль пружності матеріалу і площа поперечного перетину j -го ребра відповідно.

Зусилля і моменти для легкого заповнювача мають вигляд:

$$T_{11}^t = \int_{-\frac{h_t}{2}}^{\frac{h_t}{2}} \left(1 + \frac{z_t}{R_t}\right) \sigma_{11}^t dz_t \quad ; \quad M_{11}^t = \int_{-\frac{h_t}{2}}^{\frac{h_t}{2}} z_t \left(1 + \frac{z_t}{R_t}\right) \sigma_{11}^t dz_t \quad ; \quad T_{13}^t = \int_{-\frac{h_t}{2}}^{\frac{h_t}{2}} \left(1 + \frac{z_t}{R_t}\right) \sigma_{13}^t dz_t \quad . \quad (1.18)$$

При розрахунках конкретних задач рівняння коливань (1.17) доповнюються відповідними граничними та початковими умовами.

§2. Чисельне рішення задач.

Розгляється задача динамічного деформування тришарової конічної оболонки на пружній основі Вінклера з наступними граничними умовами і їх комбінаціями:

жорстко защемлені торці при $x=x_0, x=x_N$ для несучих оболонок мають вигляд:

$$u_1^i = u_3^i = \varphi_1^i = 0, \quad (i=1,2); \quad (2.1)$$

вільні торці при $x=x_0, x=x_N$ для несучих оболонок мають вигляд:

$$T_{11}^i = 0; \quad T_{13}^i = 0; \quad M_{11}^i = 0; \quad (i=1,2); \quad (2.2)$$

граничні умови для шарнірного кріплення:

$$u_1^i = u_3^i = M_{11}^i = 0. \quad (i=1,2); \quad (2.3)$$

Початкові умови для всіх випадків закріплення несучих оболонок при

$t = 0$ є нульовими:

$$u_1^i = u_3^i = \phi_1^i = 0, \quad \frac{\partial u_1^i}{\partial t} = \frac{\partial u_3^i}{\partial t} = \frac{\partial \phi_1^i}{\partial t} = 0; \quad (i=1, 2). \quad (2.4)$$

Нестационарне імпульсне навантаження задавалося у вигляді

$$P_1 = A \sin \frac{\pi t}{T} [\eta(t) - \eta(t - T)] \quad (2.5)$$

де $\eta(t)$ – функція Хевісайда.

В розрахунках покладається: $A=10^6$ Па; $T=50 \cdot 10^{-6}$ с, а геометричні та фізико–механічні параметри мають наступні значення:

$$E_1^1 = E_1^2 = E_j = 7 \cdot 10^{10} \text{ Па}; \quad \rho_1 = \rho_2 = \rho_j = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \quad \nu_1^1 = \nu_1^2 = \nu_j = 0,3; \quad R_0 = 0,205 \text{ м};$$

$$h_1/R_0 = 0,01; \quad L=0,39; \quad h_1 = h_2 = 0,002 \text{ м}; \quad H_j = 2 h_1; \quad F_j = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \quad \text{кут конусності } \alpha = \frac{\pi}{6}$$

$$C_1=10^8 \text{ Н/м}^3 \text{ і } C_1=10^9 \text{ Н/м}^3; \quad C_2=0.$$

Досліджуються варіанти структури коли легкий заповнювач відсутній, та при його наявності з наступними властивостями $E_{1,2}/E_t = 50$ $\rho_t = 25 \text{ кг/м}^3$, $\nu_t = 0,33$.

Дискретні підкріплюючі елементи розташовуються в точках:

$$s_j = [6 + (k - 1)16] \Delta s, \quad k = \overline{1,5}, \quad \Delta s = (s_N - s_0)/80, \quad (s_N - s_0) = 0,4 \text{ м}.$$

Відповідна початково-крайова задача (1.17), (2.1) - (2.5) вирішується з допомогою скінченно-елементного методу. Створена для цього скінченно-елементна модель оболонки, відображає взаємозв'язок потенційної енергії деформацій в тілі з потенціалом прикладених сил:

$$\Pi = E - W, \quad (2.6)$$

де E – потенціальна енергія деформацій, а W – потенціал прикладених сил.

Після розбивки суцільної області на окремі елементи залежність (2.8) приймає вигляд:

$$\Pi = \sum_{e=1}^E (E^{(e)} - W^{(e)}) = \sum_{e=1}^E \pi^{(e)} \quad (2.7)$$

Глобальна матриця жорсткості і глобальний вектор-стовпець в матричному рівнянні

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (2.8)$$

відповідають співвідношенням:

$$[K] = \sum_{e=1}^E [k^{(e)}], \quad \{F\} = -\sum_{e=1}^E \{f^{(e)}\}. \quad (2.9)$$

Досліджується динаміка напружено-деформованого стану симетричної тришарової конічної оболонки. У моделях використовується тривимірний об'ємний скінченний елемент [334].

Створена скінченно-елементна модель конічної структури (рис. 2) включає наступні складові: а – зовнішня несуча оболонка; б – внутрішня несуча оболонка; с – легкий заповнювач; d – армуючі ребра. При довжині твірної 0,39 м і куту конусності 30° модель налічує 33696 об'ємних скінченних елементів і 5688 елементів пружної основи. Загальна кількість вузлів становить 45504.

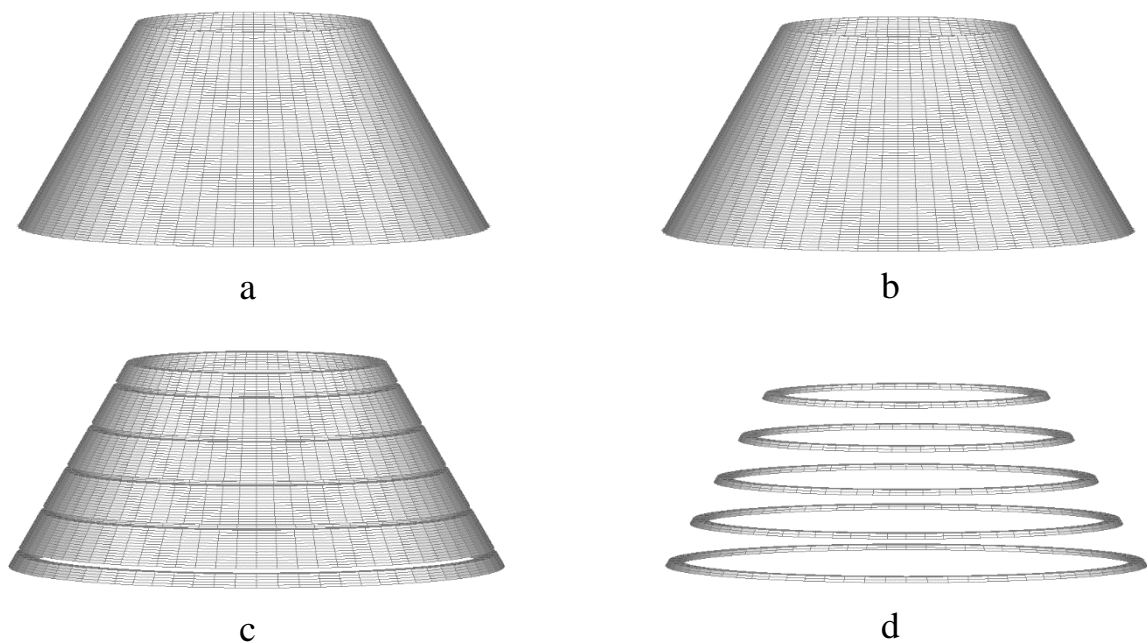


Рисунок 2. Скінченно-елементна модель тришарової конічної оболонки:

а – внутрішній шар; б – зовнішній шар; с – полімерний заповнювач (t);

d – армуючі ребра (j)

Розрахунки виконувались у програмно-розрахунковому комплексі *Nastran* алгоритмом прямого перехідного динамічного процесу. При цьому

реакція конструкції розраховувалась шляхом розв'язання систем рівнянь з використанням чисельного інтегрування.

Отримані таким чином чисельні результати дозволяють аналізувати напружено–деформований стан тришарової пружної структури даного кінцевого типу в будь який момент у часовому інтервалі $0 \leq t \leq 10T$.

На рис. 3а приведені залежності максимальних величин нормальних прогинів u_3^1 (1) і u_3^2 (2) в серединних поверхнях несучих шарів тришарової кінцевої оболонки під дією зовнішнього пружного середовища $C_1 = 10^8 \text{Н/м}^3$ вздовж координати s (суцільні лінії). Торці оболонки жорстко защемлені. Тут і в подальших графіках крива 1 відповідає величині u_3^1 внутрішньої несучої оболонки, а крива 2 – величині u_3^2 зовнішньої несучої оболонки в момент часу $t = 2,35 T$ і $t = 2,3 T$ (час досягнення максимального значення величин u_3^1 (1) і u_3^2 (2)). Пунктирні лінії на графіках відповідають пружному середовищу $C_1 = 10^9 \text{Н/м}^3$. Легкий заповнювач в даному варіанті структури відсутній. На даному і всіх подальших рисунках точки з'єднання кривих 1 і 2 вказують s .

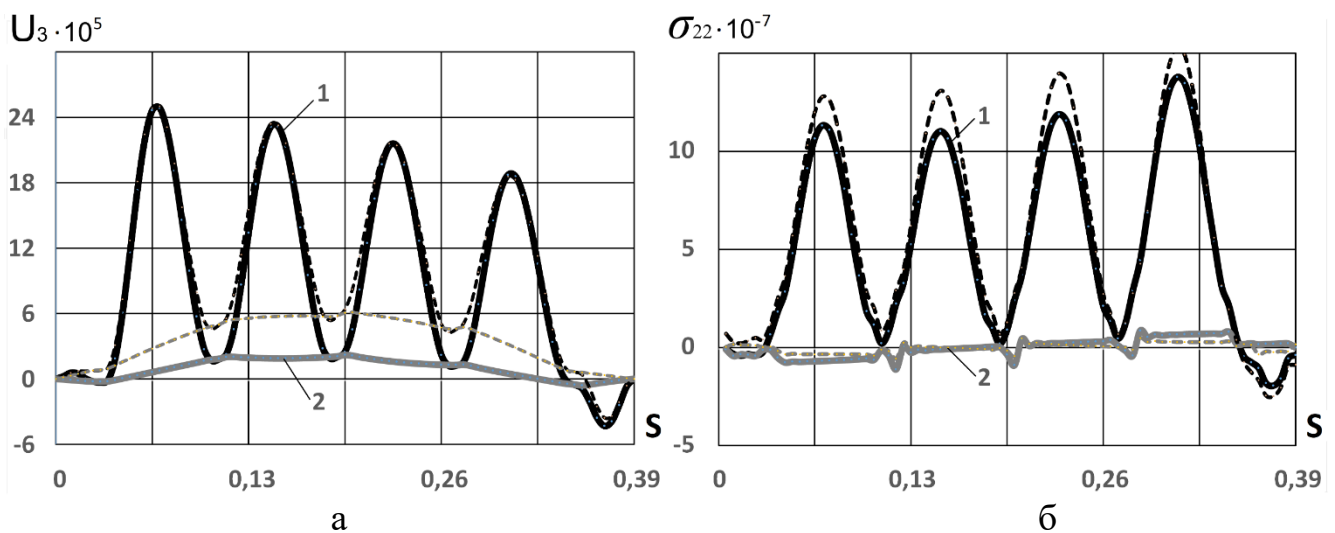


Рисунок 3. Максимальні нормальні прогини і напруження несучих шарів тришарової кінцевої оболонки без полімерного заповнювача і жорсткому защемленні торців

місця розташування дискретних ребер. Даний графічний матеріал показує значну несиметричність розподілу величин u_3^1 (1) і u_3^2 (2) за просторовою координатою

На рис. 3б зображені залежності максимальних величин нормальних напружень σ_{22}^1 (1) і σ_{22}^2 (2) в серединних поверхнях несучих оболонок від

координати s . Крива 1 відповідає величині σ_{22}^1 внутрішньої несучої оболонки, а крива 2 – величині σ_{22}^2 зовнішньої несучої оболонки в момент часу $t = 2,35 T$ ($t = 2,3 T$ пунктирна лінія), (t -час досягнення максимального значення величин σ_{22}^1 (1) і σ_{22}^2 (2)).

На рис. 4а зображені залежності максимальних величин нормальних прогинів u_3^1 (1) і u_3^2 (2) в серединних поверхнях несучих шарів досліджуваної конічної оболонки під дією зовнішнього пружного середовища від поздовжньої координати s . Торці оболонки жорстко зацемлені. Полімерний заповнювач - $E_1^1/E_1^t = 50$.

На рис. 4б приведені залежності максимальних величин нормальних напружень σ_{22}^1 (1) і σ_{22}^2 (2) в серединних поверхнях несучих шарів досліджуваної структури вздовж координати s в моменти часу $t = 4,7T$ (4,2T- пунктирна лінія).

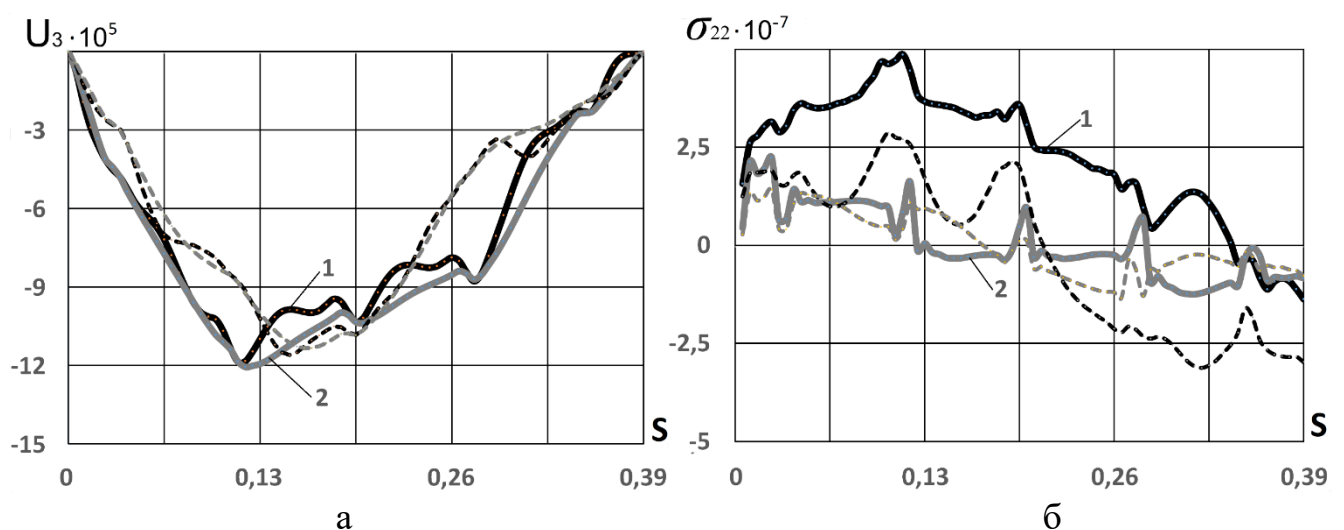


Рисунок 4. Максимальні нормальні прогини і напруження несучих шарів тришарової конічної оболонки при наявності полімерного заповнювача і жорсткому зацемленні торців

На рис. 5а приведені залежності максимальних величин нормальних прогинів u_3^1 (1) і u_3^2 (2) в серединних поверхнях несучих шарів досліджуваної структури при аналогічних параметрах її навантаження. Торці оболонки шарнірно закріплені. Структура без заповнювача ($t = 2,6T$).

На рис. 5б зображені залежності максимальних величин нормальних напружень σ_{22}^1 (1) і σ_{22}^2 (2) в серединних поверхнях несучих шарів від координати s в момент часу $t = 2,6T$ ($t = 2,4T$ пунктирна лінія).

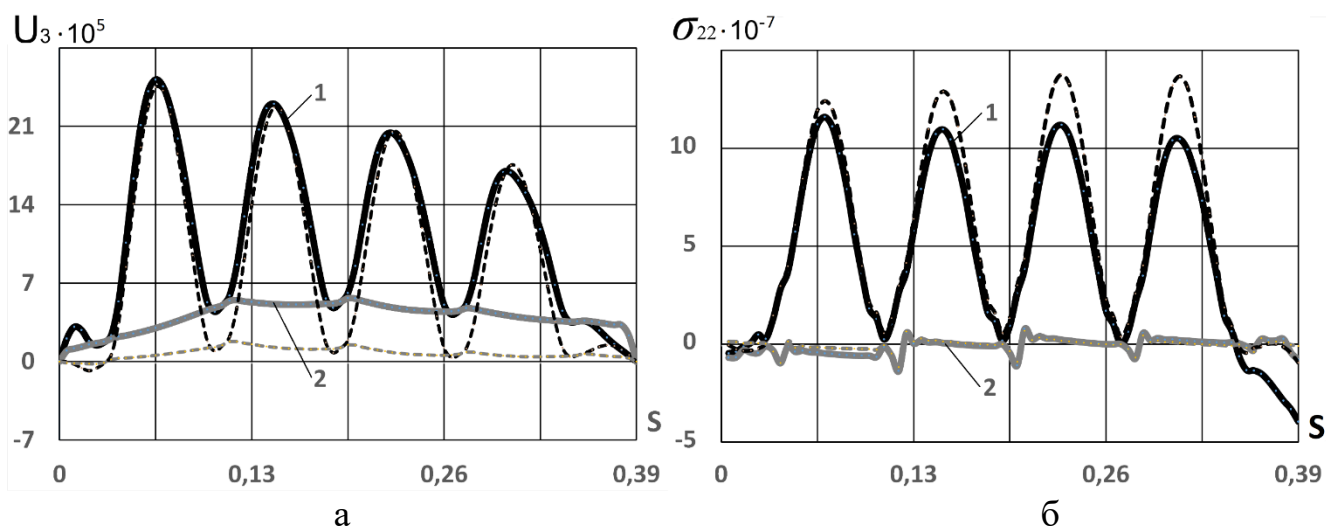


Рисунок 5. Максимальні нормальні прогини і напруження несучих шарів тришарової кінчної оболонки без полімерного заповнювача і шарнірному закріпленні торців

На рис. 6а приведені залежності максимальних величин нормальних прогинів u_3^1 (1) і u_3^2 (2) в серединних поверхнях несучих оболонок даної тришарової кінчної структури під дією зовнішнього пружного середовища вздовж координати s . Торці оболонки шарнірно закріплені, а її заповнювач має

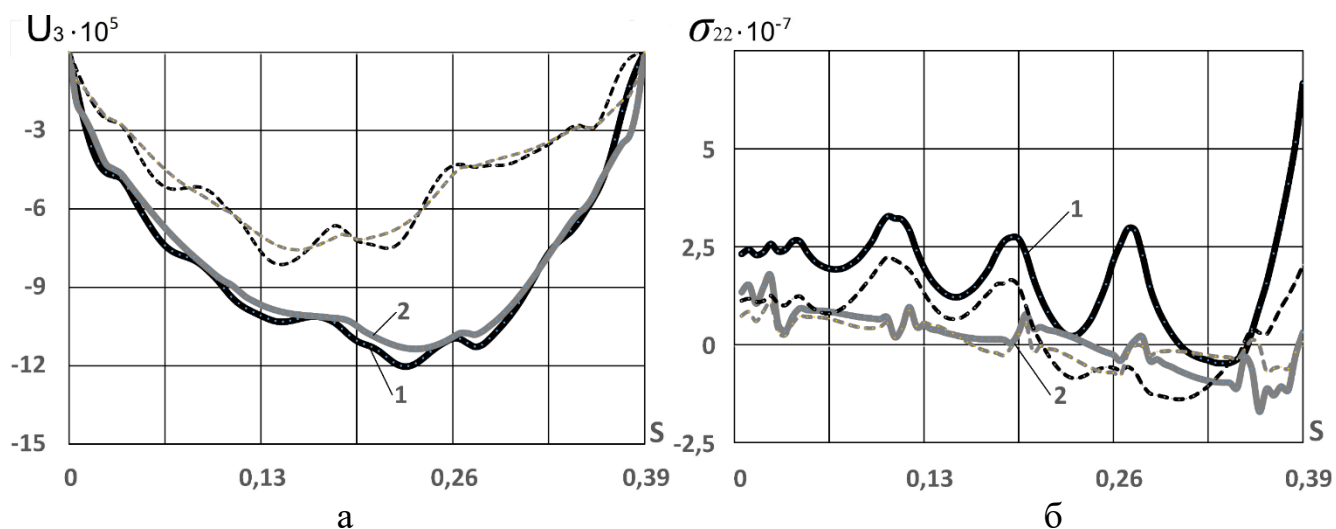


Рисунок 6. Максимальні нормальні прогини і напруження несучих шарів тришарової кінчної оболонки при наявності полімерного заповнювача і шарнірному зашцеПЛенні торців

властивості $E_1^1/E_1^t = 50$ ($t = 5,0T$ ($t = 3,95T$ - пунктирна лінія)).

На рис 6б приведені залежності нормальних напружень σ_{22}^1 (1) і σ_{22}^2 (2) в серединних поверхнях несучих шарів від координати s в момент часу $t = 5,0T$ ($t = 3,95T$ - пунктирна лінія).

РЕЗЮМЕ. Досліджено динаміку тришарових конічних оболонок при нестационарному навантаженні під впливом пружного зовнішнього середовища. Отримано рівняння руху тришарових конічних оболонок з дискретно-симетричним легким, армованим ребрами заповнювачем при осесиметричному імпульсному навантаженні. При аналізі елементів пружної структури використана модель теорії оболонок і стрижнів Тимошенка за незалежних статичних і кінематичних гіпотез для кожного шару. Виведено рівняння руху тришарової конічної оболонки з дискретно-неоднорідним заповнювачем згідно з варіаційним принципом Гамільтона-Остроградського. Чисельні результати характеру коливань тришарової пружної конструкції отримані методом скінченних елементів. Отримані результати впливу фізико-механічних параметрів несучих шарів оболонки і пружності зовнішнього середовища на напружено-деформований стан структури при осесиметричному внутрішньому імпульсному навантаженні. В різній мірі, але практично аналогічно це підтверджують і результати інших робіт [341, 343-349].

SECTION 11. METALLURGY

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.11.1

11.1 Використання методів евристики та функціонально-вартісного аналізу для удосконалення контролю зношування та оптимізації ремонтів футерівки індукційної сталеплавильної печі

Одним з напрямків зменшення викидів парникових газів для боротьби із змінами клімату при реалізації стратегії декарбонізації виробництва сталі є перехід на електрометалургійні технології виплавки сталі, в том числі на виплавку в індукційних печах [350, 351]. Серед обмежень індукційної плавки, що заважають переходу на виплавку в індукційних печах, вказують низьку стійкість їх футерівки. Індукційні сталеплавильні агрегати характеризуються значною продуктивністю та успішно застосовуються для виплавки відносно невеликих об'ємів (від 5 кг до 60 т) високоякісних сталей у виробничих (ливарні цехи) та лабораторних умовах. З технічної літератури відомі технології виплавки в індукційних печах високолегованих жаростійких сталей [352-354], конструкційних та низьковуглецевих сталей [355-357], кольорових металів [358, 359] і сплавів спеціального призначення [360, 361].

Особливістю роботи індукційної тигельної печі є подібність до функціонування трансформатора, коли первинною обмоткою є індуктор, а вторинною обмоткою виступає матеріал у тиглі, розміщеного у центрі індуктора, який заживлюється від високочастотного генератору перемінного струму. Завдяки такій конструкції на метал, що розплавляється під дією токів Фуко, діють радіальні сили, направлені до центру ванни розплавленого металу [362, 363]. Дія таких сил приводить до витиснення рідкого металу по вертикальній осі тигля ввєрх та вниз, що сприяє електродинамічному перемішуванню шарів металу, забезпечуючи досягнення хімічної однорідності розплаву та флотації неметалічних включень. Активна циркуляція рідкого металу позитивно впливає на однорідність хімічного складу металів, що виплавляють, але негативно відбивається на такому показнику, як стійкість футерівки індукційних печей.

Футерівка розташовується між рідким металом та індуктором (рис. 1), і, вочевидь, чим товще футерування печі (або потовщення через нарости), тим менший магнітний потік проникає в метал і тим нижче ефективність використання електроенергії при плавці, тому товщина футерування має обмеження [364, 365]. Загальну конструкцію індукційної плавильної печі наведено на рис. 1.

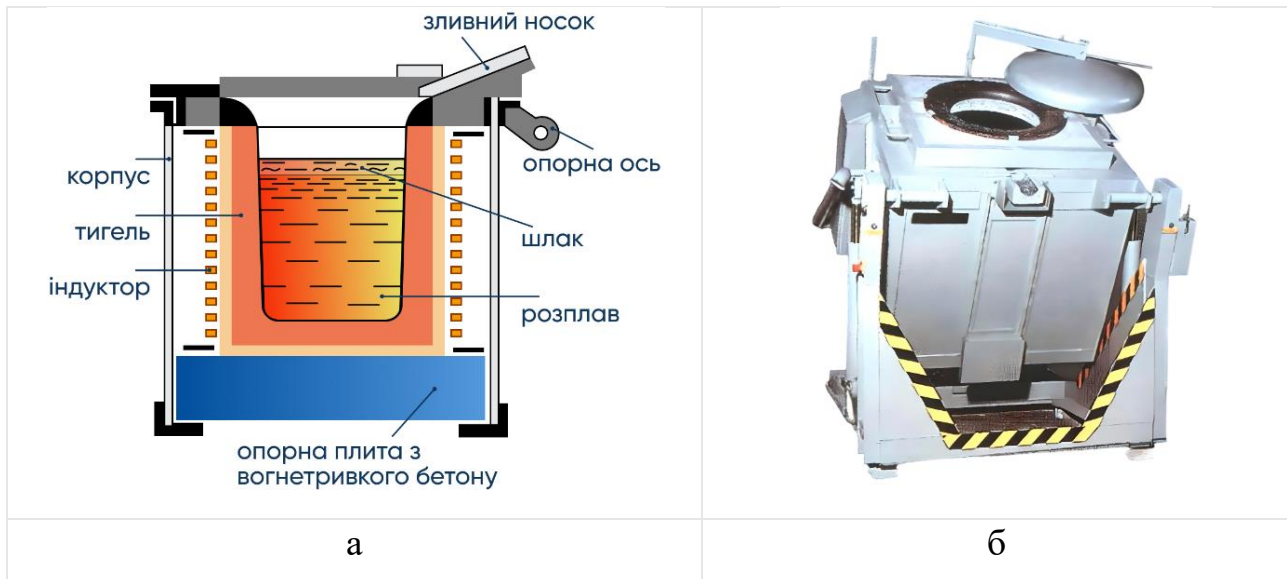


Рисунок 1. Схема (а) та зовнішній вигляд (б) типової індукційної тигельної плавильної печі

Тигель індукційної печі (див. рис. 1) виготовляють/ремонтують методами набивання або викладання вогнетривким матеріалом (цеглою). Тигель безпосередньо знаходиться в індукторі, який являє собою водоохолоджувану спіраль з мідної трубки із визначеною кількістю витків. Набивний тигель з вогнетривкого порошкового матеріалу закріплюють у корпусі і встановлюють на плиті (основі) з вогнетривкого бетону. Випуск виплавленого металу відбувається через зливний носок при повороті печі разом з корпусом відносно опорної осі [365]. Через фізичні особливості генерації тепла безпосередньо у металі підвищення температури плавки обмежується переважно стійкістю самого плавильного тигля. Тигель виконують із вогнетривкого матеріалу, яким може виступати кераміка, графіт або шамот-графіт [366-368]. Для підвищення

термічної стійкості і зменшення термічного стресу тигля використовують системи охолодження водою і контролю за його температурою [369, 370].

Величини температур переходу у рідку фазу марок сталей, які виплавляють в індукційних печах, обумовлюють використання футеровок тиглів трьох видів: (а) кислої, (б) основної і (в) нейтральної. Для кислої (а) футерівки застосовують вогнетриви на основі окису кремнію (90...98 % SiO_2), борної кислоти (1...1,5 %) та невеликої кількості таких окислів металів, як Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO та ін. Тривалість роботи тиглів з кислої футерівки складає 80...100 плавок. Для основної (б) футерівки використовують переважно магнезит (до 85 % MgO), рідке скло із домішками окислів типу CaO , SiO_2 й ін. Стійкість таких тиглів знижується зі збільшенням об'єму печей і складає 20...50 плавок. Для нейтральної (в) футерівки застосовують матеріали на основі Al_2O_3 з домішками магнезиту. Стійкість такої футерівки є вищою, ніж у двох попередніх варіантах [365, 371].

У джерелах [372, 373] в якості переваг індукційних тигельних печей також вказані широкі можливості їх автоматизації з використанням контролерів та висока екологічність агрегатів, а в якості недоліку також вказано на проблему низької стійкості футерівки. За думкою авторів [365, 374] важливою частиною обслуговування, забезпечення ефективності й надійності обладнання та безпеки процесу плавки є контроль за зношуванням футерівки, який проводять автоматизовано. Виходячи з вищесказаного, аналіз виробничого досвіду з підвищення стійкості футерівки та розробка рекомендацій для підвищення ефективності контролю зношування футерівки індукційної тигельної плавильної печі є актуальним науково-практичним завданням.

Для обґрунтування й розробки практичних рекомендацій щодо підвищення стійкості футерівки індукційної тигельної плавильної печі та вибору ефективного методу контролю зношування використовували евристичні методи: контрольних запитань та фокальних об'єктів. Крім того, проводили оцінку ефективності та розробили пропозиції з оптимізації технології ремонту футерівки із застосуванням методу функціонально-вартісного аналізу.

Метод контрольних запитань (МКЗ). Метод контрольних запитань використовують для активізації та перевірки розуміння інформації. Суть МКЗ полягає у створенні або використанні підготовленого переліку запитання, які дозволяють розглянути проблему з різних сторін, стимулювати критичне мислення, систематизувати пошук та знайти варіант рішення проблеми [375-378]. Для забезпечення розкриття проблеми запитання повинні бути структурованими щодо відображення ключових аспектів теми, розглядатися поетапно, бути різноманітними за формою і рівнем складності, сприяти активному застосуванню знань та креативності, мати зворотній зв'язок для можливості виправлення непорозумінь, стимулювати обговорення при колективному розгляді (наприклад, при застосуванні у технологіях «мозкових атак»). В різні часи різними авторами було розроблено різноманітні варіанти запитань, які використовують для активізації творчого мислення у МКЗ. Це списки запитань таких авторів, як [375-378]: А. Осборн, Т. Ейлоарт, Д. Пірсон, Д. Пойа, Р. Буш та ін. Нижче розглянуто обрані запитання (по п'ять вибірових запитань) зі списків А. Осборна, Т. Ейлоарта, при відповіді на які використовували відомості з виробничого досвіду.

Розгляд проблеми через список питань А. Осборна.

- «Що в технічному об'єкті можна змінити? Що і наскільки можна замінити в ньому: використати інший інгредієнт, матеріал, процес, джерело енергії, розташування, колір, звук, освітлення?».

Відповідь: Як було вказано у літературному огляді, стійкість футеровки залежить від матеріалу футерівки. Тобто досягти збільшення стійкості можна забезпеченням коректного вибору футеровочного матеріалу в залежності від марок сталей, що виплавляють.

- «Що можна в технічному об'єкті зменшити або замінити? Чи можна щонебудь ущільнити, стиснути, згустити, сконденсувати, застосувати метод мініатюризації, вкоротити, звузити, відокремити, роздрібнити?».

Відповідь: Досягти збільшення термічної стійкості футерівки можна виконанням гарячих ремонтів окремих ділянок футерівки по мірі її зношування,

а саме виконанням підварювання в зонах інтенсивного зносу – зазвичай у зоні завантаження брухту та збоку зливу. При такому ремонті підварку у вигляді брикету висипають на проблемне місце, вона розтікається під дією високих температур і заповнює ділянку, що ремонтують. Стійкість підварювання при правильному проведенні такої операції сягає до 100 плавок.

- «Що можна перетворити в технічному об'єкті? Які компоненти можна замінити? Чи можна змінити модель, розбивку, розмітку, планування, послідовність операцій? Чи можна поміняти місцями причину й ефект, змінити швидкість, темп або режим?».

Відповідь: Замість брикетів для підварки можна використовувати метод ремонту напівсухим торкретуванням. Його використовують для ремонту будь яких зон, а операція займає менше часу ніж підварювання. Відновлена торкретуванням футерівка має меншу стійкість – до 40 плавок, але дозволяє більш вибірково виконати ремонт.

- «Чи можливо розв'язати винахідницьку задачу шляхом пристосування, спрощення, скорочення? Що нагадує даний технічний об'єкт? Чи викликає аналогія нову ідею? Чи відомі в минулому аналогічні проблемні ситуації, які можна використати? Що можна скопіювати? Який технічний об'єкт необхідно випереджати?».

Відповідь: Відносно новим і технологічним методом збільшення тривалості футеровки печі є використання лазерних систем [379, 380] (наприклад, системи LR 2000 Delta CCS [381]), для контролю стану залишкової товщини футерівки, що дозволяє завчасно визначити необхідність виконання локальних ремонтів та потрібну кількість матеріалу для проведення ремонту, а отже оптимізувати час на виконання ремонтних робіт.

- «Які модифікації технічного об'єкта можливі? Чи буде прийнятною модифікація шляхом обертання, згину, кручення, повороту? Які зміни призначення, руху, кольору, запаху, форми, обрисів можна застосувати? Чи є інші можливі зміни?».

Відповідь: Контролем за якістю шлаку та його хімічним складом можливо

збільшити тривалість матеріалів футерівки. Найбільш висока інтенсивність виходу з ладу футерівки спостерігається в період формування шлаку з основністю $\text{CaO/SiO}_2 = 1,0 \dots 1,5$ та високою окисленістю (до 30% FeO). Це вказує на необхідність саме в перший період плавки формувати шлак, що має максимальну для даних температурних умов концентрацію MgO, більш близьку до насичення.

Розгляд проблеми через список питань Т. Ейлоарта.

- «Визначити ідеальне рішення, розробляти можливі».

Відповідь: Одним з практичних методів, який можна віднести до «ідеального» для виробничих умов, є збільшення стійкості футерівки за рахунок використання вогнетривів з більшим експлуатаційним терміном стійкості та більш дешевих. До прикладу, у шамотної цегли стійкість найвища. Її максимальна вогнетривкість не настільки висока, як у основної цегли (1690...1730 °C проти 2000 °C), але вона легко протистоїть перепадам температури і коштує дешевше.

- «Спробувати різні види матеріалів і види енергії».

Відповідь: З точки зору енергії, що використовується при індукційному плавленні, то її використання є достатньо ефективним. Як використання інших матеріалів слід відзначити відомі способи підвищення стійкості футерівки шляхом виплавки сталі під збагаченими MgO шлаками, коли шлак формується в області насичення MgO. Шлаки такого складу мають менш агресивний вплив на вогнетривку футерівку печі.

- «В уяві залізи усередину механізму».

Відповідь: При розгляді кінетики насичення шлаку оксидом магнію, коли відбувається взаємодія матеріалу вогнетриву MgO–C, при моделюванні процесу введення магнезійного флюсу спостерігається суттєве уповільнення швидкості потрапляння оксиду магнію в шлак, а саме в 2...2.5 рази. Промислові дослідження дозволили оцінити ступінь розчинення вогнетривів основного складу в шлаку в залежності від вмісту в ньому оксиду магнію, при цьому виявлена закономірність

зменшення переходу оксиду магнію з футеровки в шлак при збільшенні ступеню насичення шлаку MgO.

- «Видозмінити рішення проблеми з погляду часу (скоріше або повільніше), розмірів, в'язкості і т. ін.».

Відповідь: Додатковий вплив на стійкість футерівки має геометрія тигля та контролювання дотримання розмірів і допусків при футеруванні. Тигель може пройти попередню стендову збірку на підприємстві, яке випускає вогнетривкі конструкції, що також може вплинути на збільшення кількості плавов.

- «Визначити альтернативні проблеми і системи, що вилучають певну ланку з ланцюга, і таким чином, створюють щось зовсім інше, ведуть до потрібного рішення».

Відповідь: Вочевидь, що найбільш сильно футерівка зношується (розм'якшується і нашлаковується) в зонах з підвищеною температурою. Тому одним з прийомів, спрямованих на підвищення терміну служби футерівки є її охолодження в таких зонах.

Метод фокальних об'єктів (МФО). Метод фокальних об'єктів призначений для удосконалення вибраного об'єкту, що називають фокальним (через те, що він знаходиться у фокусі уваги), за рахунок перенесення ознак випадково вибраних об'єктів на фокальний об'єкт [375, 378, 382]. Це метод пошуку нових ідей, який вирізняється простотою та можливістю багаторазового застосування.

Ставлячи за мету удосконалення підвищення стійкості футерівки індукційної печі, середня тривалість якої складає біля 50 плавов, в якості фокального об'єкту було обрано систему для контролю за станом залишкової товщини футерівки. Вибір випадкових об'єктів та їх визначені властивості наведені на рис. 2. Слід окремо відзначити внесок українських дослідників Інституту чорної металургії НАН України в розробку систем автоматизованого контролю за зношуванням футерівки та поду доменної печі, які базуються на комбінуванні калориметричного та термометричного методів контролю й аналізі теплової роботи і теплових втрат металургійного агрегату [383–385]. Відомостей

щодо застосування таких систем контролю до умов плавки в індукційних печах не було знайдено.

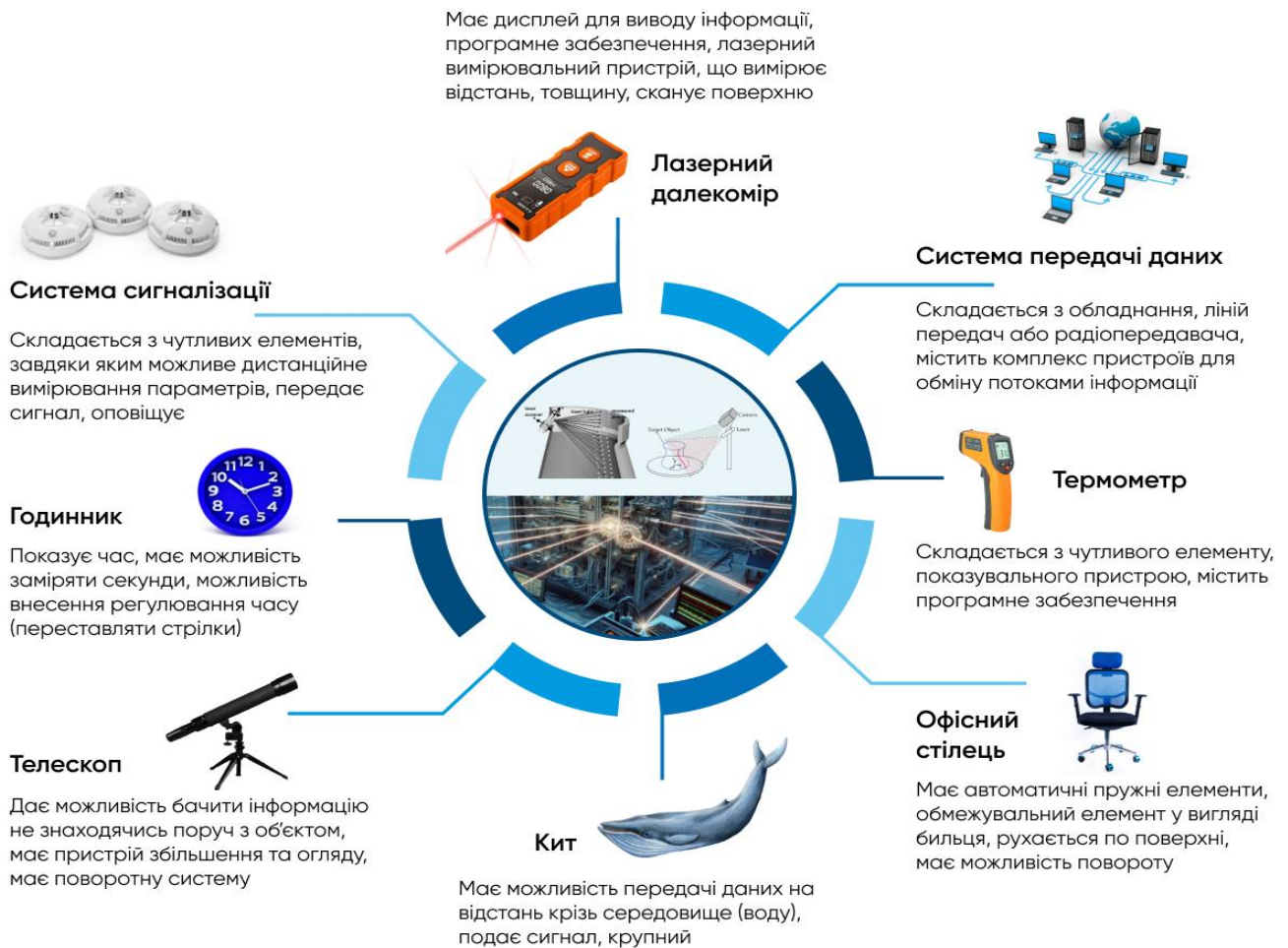


Рисунок 2. Удосконалення системи для контролю за станом залишкової товщини футерівки методом фокальних об'єктів: аналіз властивостей випадково вибраних об'єктів

Шляхом генерації ідей за рахунок додавання варіативних властивостей випадкових об'єктів до фокального об'єкту визначено раціональність впровадження лазерних систем [379-381]. Досвід розробки та успішне застосування лазерної системи для моніторингу стану тиглю індукційної печі наведено у роботі [386]; а у дослідженні [387] подібна лазерна система впроваджена при вимірюванні зношування футерівки доменної печі. При цьому відомі підприємства-виробники лазерних систем з необхідними функціями:

DELTA (Sensors and Systems for the Steel Industry) [388], SAVEWAY [389], Luoyang Songdao Induction Heating Technology Co., Ltd [390], MTI Corporation [391], Acuity [392] та ін.

Для практичного використання на виробництві обрано для впровадження установку лазерного сканування, що базується на експлуатації лазерної системи LR 2000 Delta CCS для контролю над станом залишкової товщини футерівки. Система заснована на принципі 3D сканера для побудови профілю футерівки [379, 393, 394], що дозволяє визначати залишкові розміри. Це дозволяє завчасно визначати необхідність виконання локальних ремонтів, оптимізувати час їх виконання, розраховувати необхідну кількість футерувальних матеріалів.

Функціонально-вартісний аналіз (ФВА). Функціонально-вартісний аналіз є методом оцінки ефективності технічної системи з точки зору її функціональності та вартості [395-398]. З метою оптимізації витрат на технологію ремонту зношеної футерівки індукційної тигельної печі, ФВА доцільно застосувати для визначення співвідношення між функціональністю витратних складових елементів (матеріалів), що використовуються для ремонту, та їх вартістю. Основні етапи ФВА оцінки ефективності матеріалів для ремонту зношеної футерівки індукційної тигельної печі наведені у табл. 1. На зношування футерівки тигля індукційної печі впливають важкі умови його роботи: тепловий, ерозійний і корозійний вплив гарячого рідкого розплаву, хімічний процес кородування шлаку, ефект статичного тиску стовпа рідкого металу (до 40÷80 кПа [365]), ефект динамічного тертя при перемішуванні рідкого металу, механічні удари при завалці шихтових матеріалів і лігатури, а також при осаджуванні мостів, які виникають при плавці. Як об'єкт удосконалення розглядали індукційну тигельну піч ємністю 3 т, яку експлуатують у плавильному відділенні ливарного цеху підприємства ТОВ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ЛИВАРНО-МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД».

Таблиця 1.

Основні етапи ФВА при оцінці ефективності матеріалів для ремонту
футерівки індукційної тигельної печі

| № | Етап ФВА | Зміст етапу ФВА |
|----|---|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 1. | Визначення функцій матеріалів для ремонту | <ul style="list-style-type: none"> • Див. табл. 2 |
| 2. | Оцінка важливості функцій | <ul style="list-style-type: none"> • Визначення ступеня важливості функцій для відновлення футерівки та забезпечення ефективності роботи індукційної тигельної печі за принципом АВС. • Оцінка впливу кожної функції на продуктивність печі та безпеку експлуатації. |
| 3. | Аналіз вартості функцій | <ul style="list-style-type: none"> • Врахування витрат на матеріали, їх виготовлення та установку. • Оцінка ефективності різних матеріалів з точки зору подовження тривалості служби, стійкості до агресивних середовищ та вартості футерівки. |
| 4. | Визначення альтернатив | <ul style="list-style-type: none"> • Розгляд різних типів теплоізоляційних, структурних та термостійких матеріалів, що можуть використовуватися для ремонту футерівки. • Порівняння їхніх технічних характеристик та вартості. |
| 5. | Вибір оптимального варіанту | <ul style="list-style-type: none"> • Вибір матеріалу, який забезпечить найвищу ефективність за доступну вартість. |
| 6. | Оптимізація та постійне вдосконалення | <ul style="list-style-type: none"> • Впровадження матеріалу. • Проведення моніторингу ефективності матеріалу. • Корекція матеріалу в разі потреби. |

Таким чином, ФВА допомагає вибрати оптимальний матеріал для ремонту зношеної футерівки, забезпечити ефективність процесу та економічну доцільність у використанні ресурсів. Заміну футерівки печі потрібно виконувати в середньому щомісяця. Для проведення ремонту необхідні наступні складові елементи: маса вогнетривка, бетон вогнетривкий, набивна маса, шаблон для набивки печі, тигель (який має свій термін роботи і після зношування потребує заміни). Функціональність оцінювали за значущістю матеріалів для проведення ремонту з точки зору досягнення мети (ефекту) збільшення міжремонтних періодів. Для оцінки функціональності елементів використовували експертну оцінку. При цьому, за принципом Ейзенхауера-Парето, виділяли функції (див. п. 1 табл. 1 та табл. 2) вкладу у досягнення мети, які відносили до певних АВС класів, яким відповідають літери: А – головні функції, В – другорядні функції, С – непотрібні або зайві функції.

Розглянемо матеріали в залежності від витрат коштів на них при виконанні для ремонту печі. Через змінний характер цін, політику нерозголошення та ймовірність комерційної таємниці підприємства на собівартість ремонтних робіт у табл. 3 розподіл коштів, що витрачаються на ремонт, наведено як результуюча у відсоткових показниках. Вартість позицій 2–3, табл. 3, вказана відносно тону матеріалу. Крім того, оцінювали матеріали для ремонту печі з точки зору їх функціональної значущості для досягнення максимальної стійкості футерівки. Оцінку проводили за десятибальною шкалою. Виконували опитування співробітників різних структурних відділів цеху, а саме: майстра дільниці, представників відділу постачань та ремонтних бригад. Середня експертна оцінка за значимістю наведена у табл. 3. За отриманими результатами розраховували коефіцієнт значимості складових матеріалів для ремонту індукційної тигельної печі (див. табл. 3). Отримані дані представлені графічно на рис. 3 у вигляді функціонально-вартісної діаграми.

Таблиця 2.

Розподіл функцій матеріалів для ремонту футерівки згідно з п. 1 табл. 1
за принципом ABC для цільового призначення збільшення
міжремонтного періоду

| № | Складові | Функції | | | | | | Разом по складовим |
|---|--|---------|----|----|----|----|----|--------------------|
| | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | |
| 1. | Тигель | B | A | A | A | A | B | 4A-2B |
| 2. | Маса вогнетривка | B | B | - | A | - | B | A-3B |
| 3. | Бетон вогнетривкий | - | B | B | A | - | C | A-2B-C |
| 4. | Маса набивна ¹⁾ | A | C | - | C | - | - | A-2C |
| 5. | Шаблон для набивки печі ²⁾ | A | - | - | - | - | - | A |
| ¹⁾ мінералізатори та в'язучі речовини ²⁾ зварний з листового матеріалу | | | | | | | | |
| F1 – Реставрація розмірів і форми футерівки F2 – Відновлення теплоізоляційних властивостей футерівки, що діють у всьому діапазоні робочих температур (200...1650 °C) F3 – Забезпечення механічної міцності для утримання розплаву та ударів F4 – Забезпечення стійкості до впливу високих температур F5 – Захист від ерозії, агресивних середовищ та тертя при гідродинамічному перемішуванні рідкого металу F6 – Відновлення тепловідбивних характеристик [399] | | | | | | | | |

Таблиця 3.

Розрахунок коефіцієнтів витрат складових матеріалів для ремонту
індукційної тигельної печі

| № | Складові | Витрати на ремонт | | Експертна оцінка значимості | | Коефіцієнт витрат |
|----|-------------------------|--|------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|
| | | Питома вага у загальних витратах, ПВВ, % | Клас | Середня оцінка за 10-бальною шкалою | Значимість, ЗОЕ, % | КВ = ПВВ / ЗОЕ |
| 1. | Тигель | 81 | A | 7,6 | 21 | 3,85 |
| 2. | Маса вогнетривка | 6,2 | A | 8,3 | 24 | 0,25 |
| 3. | Бетон вогнетривкий | 3,5 | B | 7 | 20 | 0,17 |
| 4. | Маса набивна | 5 | A | 7,6 | 21 | 0,20 |
| 5. | Шаблон для набивки печі | 4,3 | C | 5 | 14 | 0,30 |
| | Всього | 100 | - | 35,5 | 100 | - |

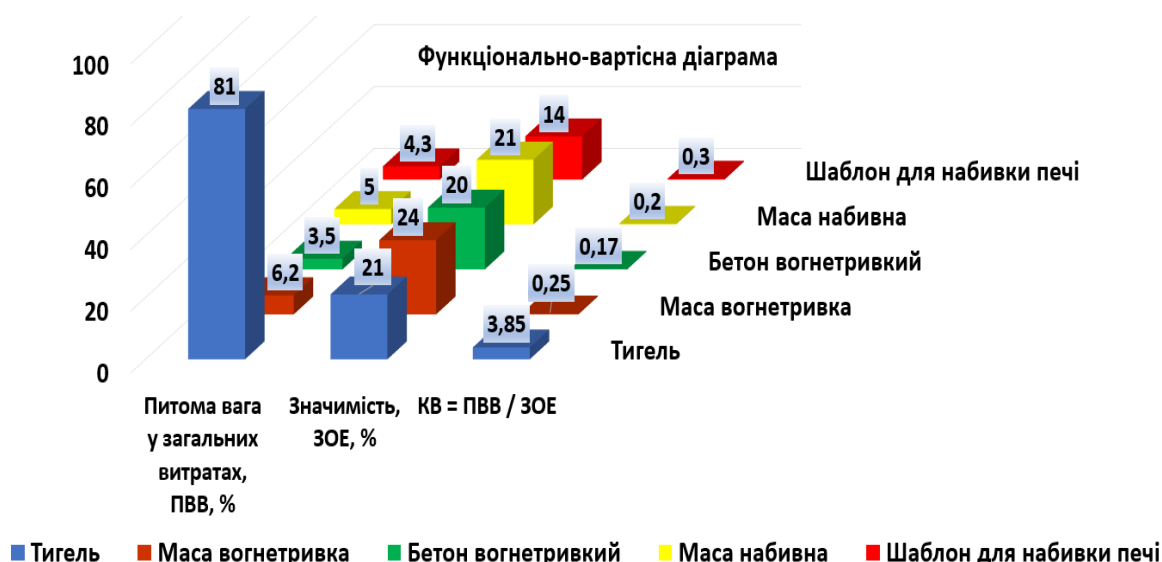


Рисунок 3. Функціонально-вартісна діаграма для ремонту індукційної тигельної печі

Для оптимальної технічної системи відношення питомої ваги у витратах до значимості кожного окремого параметра (складової) не повинно перевищувати 1,0. З отриманих результатів встановили, що коефіцієнт витрат КВ по ремонту тигля становить 3,85, тобто потрібний пошук альтернативних постачальників тиглів з меншою вартістю. Слід зазначити, що зміна тигля відбувається не при кожному ремонті, тому, в перспективі, слід уточнити викладену вище методику ФВА з точки зору перерахунку витрат на тону виплавленої сталі. В якості організаційної оптимізації розроблено рекомендації про дотримання правил експлуатації тигля для подовження міжремонтних періодів і виконання ремонтів лише перебиванням печі без заміни тигля. Коефіцієнт витрат для інших складових вважається сприятливим ($< 1,0$).

Висновки. В рамках парадигми світової декарбонізації показано, що актуальним питанням для металургійних виробництв є перехід на електрометалургійні технології виплавки сталі, в том числі на виплавку в індукційних печах. Використання індукційних сталеплавильних печей в ливарних та сталеплавильних цехах зумовлене великою продуктивністю, інтенсивним перемішуванням і високою якістю металів (сплавів), що виплавляють. Визначені перспективи подальшого удосконалення індукційних печей в напрямку підвищення стійкості футерівки, яка обмежує продуктивність таких агрегатів. Показано, що футерівка тигля повинна мати такі властивості: високі вогнетривкість й шлакотривкість, висока термостійкість та механічна міцність, мінімальні товщина та зношування футерівки під час плавки. Із застосуванням евристичних методів отримано низку перспективних рішень щодо підвищення стійкості та удосконалення методів контролю за станом футерівки. Метод контрольних запитань дозволив намітити основні аспекти, що можуть призвести до збільшення тривалості кампанії індукційної печі: заміна футеровочного матеріалу, виконанням гарячих ремонтів окремих ділянок футерівки по мірі її зношування, контроль за якістю шлаку та його хімічним складом, геометрія тигля та дотримання умов його збирання, додаткове охолодження футерівки в місцях підвищеної температури. Методом фокальних

об'єктів, шляхом генерації ідей за рахунок додавання варіативних властивостей випадкових об'єктів до об'єкту удосконалення, визначено раціональність впровадження лазерних систем для контролю за станом залишкової товщини футерівки. Система заснована на принципі 3D сканера для побудови профілю футерівки, що дозволяє визначати залишкові розміри. Це дає можливість завчасно визначати необхідність виконання локальних ремонтів, оптимізувати час їх проведення, розраховувати необхідну кількість футерувальних матеріалів. При розгляді питань оптимізації ремонту зношеної футерівки індукційної тигельної печі методом функціонально-вартісного аналізу виконаний аналіз процесу удосконалення індукційної тигельної печі ємністю 3 т, яку експлуатують у плавильному відділенні ливарного цеху підприємства ТОВ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ЛИВАРНО-МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД». Врахування експертної оцінки співробітників різних структурних підрозділів цеху щодо витрат складових матеріалів для ремонту індукційної тигельної печі, показало, що потрібний пошук альтернативних постачальників тиглів з меншою вартістю. В якості організаційної оптимізації розроблено рекомендації про дотримання правил експлуатації тигля для подовження міжремонтних періодів і виконання ремонтів лише перебиванням печі без заміни тигля. Таким чином, використовуючи різні методи підвищення стійкості та удосконалення контролю зношування футерівки можна досягти збільшення продуктивності плавильного обладнання.

REFERENCES

1. The role of crop rotation in modern agriculture. *Agriculture*. 2015. Issue 1. pp. 23-27.
2. Influence of hydrothermal conditions on growth characteristics and development for cereal and cereal legume crops in Polissia of Ukraine / Stoliar S. et al. *Sciences of Europe*. 2023. Vol. 118. P. 3–7.
3. Gosling P., Shepherd M. Long-term changes in soil fertility in organic arable farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2005. V. 105. P. 425–432.
4. Kirchmann H., Bergstro L., Katterer T., Mattsson L., Gesslein S. Comparison of Long-Term Organic and Conventional Crop–Livestock Systems on a Previously Nutrient-Depleted Soil in Sweden. *Agron. J.* 2007. V. 99. P. 960–972.
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
6. Field efficacy of different fungicide mixtures in control of net blotch on barley / Milos Stepanovic, Emil Rekanovic, Svetlana Milijasevic-Marcic et al. *Pestic. Phytomed.* 2016. №31(1–2). P. 51–57.
7. Biological, Trophological, Ecological and Control Features of Horse-Chestnut Leaf Miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic.) (2020) / N. Lesovoy, V. Fedorenko, S. Viger, P. Chumak, M. Kliuchevych, O. Strygun, S. Stoliar, M. Retman, L. Vagaliuk. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(3), 24–27.
8. Формування шкідливої біоти в агроценозах жита озимого в Поліссі України / М. М. Ключевич, С. Г. Столяр, О. Ю. Гриценко, Л. В. Білоцерківська. *Вісник ПДАА*. 2020. № 1. С. 54(60).
9. Woźniak A. Effect of various systems of tillage on winter barley yield, weed infestation and soil properties. *Applied Ecology And Environmental Research*. 2020. № 18(2). P. 3483–3496
10. Protection of winter spelt against fungal diseases under organic production of phyto-products in the Ukrainian polissia / M. M. Kliuchevych, Yu. A. Nykytiuk, S. H. Stoliar, S. V. Retman, S. M. Vyger. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10(1). P. 267–272.
11. The effect of various tillage systems on productivity of narrow-leaved lupin-winter wheat-winter triticale-winter barley rotation / Katarzyna Panaszewicz, Agnieszka Faligowska, Grazyna Szymańska et al. *Agronomy*. 2020. №10. P. 304.
12. Bogomolov O. V., Vereshko N. V., Safronova O. S. and others. Storage and processing agricultural products. Kharkiv: Espada, 2008. 544 p.

13. Derevyanko D. A., Fenyuk V. I. Definition value parameters to provide modes work systems active ventilation. Materials scientific and practical conferences scientific and pedagogical employees, doctoral students, graduate students and young scientists of the Faculty of Engineering and energy "SCIENTIFIC READINGS - 2022" May 20, 2022 Zhytomyr: Polisky national University, 2022. P. 39-42.
14. Derevyanko D. A., Fenyuk V. I. Analysis technical means storage root crops sugar beetroots, equipped with an active system ventilation. A collection of abstracts of reports of the XXIII International scientific conferences " Modern problems agricultural Mechanics " (October 16-18, 2022). Ministry of Education and Science of Ukraine, National university bioresources and nature management of Ukraine, Zhytomyr agrotechnical professional college Kyiv. Zhytomyr. 2022.S. 285-289.
15. Fenyuk V.I. Research methodology heat and mass exchangers processes in the array root crops sugar beets. Collection of theses of VH All-Ukrainian scientific and practical Conference " Perspectives and trends development structures and technical service agricultural.
16. Technology storage and processing agricultural production / A. Ya. Mankovskyi, L. F. Skaletska, G. I. Podpryatov and others. Kyiv: VKP "Aspect", 1999. 286 p.
17. Zhemela G. P. Technology storage and processing products crop production: a textbook. Poltava: Terra, 2003. 420 p.
18. Mankivskyi A. Ya. Technology storage and processing agricultural products. Chernihiv: VKP "Aspect", 1999. 387 p.
19. Storage and processing products crop production: education. manual / G.I. Podpryatov, L.F. Skaletska, A.M. Senkov, V.S. Khylevich. Kyiv: Meta, 2002. 495 p.
20. Hiding G.I., Skaletska L.F., Senkov A.M. Technology storage and processing products crop production: workshop. Kyiv: Higher education, 2004. 271 p.
21. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. – Kyiv: DP "UkrNDND.
22. Vozniuk L.I. (2022). Technical condition of building structures of structures at sites of technological maintenance of pipelines. Theoretical and scientific foundations in research in engineering: collective monograph / L. Vozniuk, G. Hnat, A. Moudra, R. Rubai and other – Boston: Primedia eLaunch, 543 p.
23. Shmukler V., Honcharenko D., Konstantynov A., Zynchenko V. (2013). Vosstanovlenye krupnopanelnoho zdanyia, razrushennoho vrezultate tekhnohennoi katastrofy. Promyslove budivnytstvo ta inzhenernisporudy. Vol.2. 34-39 pp.
24. Hladyshch H., Hladyshch D. (2022). Vyznachennia zony teplovoho vplyvu pozhezhi za rezultatamy obstezhennia konstruktsii perekryttia / Zbirnyk naukovykh prats „Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka”, №10. Kyiv, KNUBA, 2022. 32-41 pp. DOI: 10.32347/2522-4182.10.2022.32-41. (in Ukrainian).

25. Demchyna B., Vozniuk L., Surmai M. (2019). Conditions of existing residential buildings 50–60 years and mistakes of their construction. *Theory and Building Practice*, Lviv, Vol.1, No.1, 43-49. doi: <https://doi.org/10.23939/jtbp2019.02.043>.
26. Demchyna B., Vozniuk L. (2020). Emergency condition of loggies in buildings with supporting brick walls . *Theory and Building Practice*, Lviv, Vol.2, No.2, 28-34.
27. Glovyn, N., et al. Technical, agricultural and physical sciences as the main sciences of human development. International Science Group, 2024.
28. Hladyshev, D., et al. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions. International Science Group, 2023.
29. Kornlyo, I., O. Gnyp, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
30. Hladyshev, D., et al. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture. International Science Group, 2023.
31. Beresjuk, O., et al. Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. Vol. 1. International Science Group, 2022.
32. Лемешев, М. С., О. В. Христинч, and О. В. Березюк. "Дрібнозернистий бетон з модифікованим заповнювачем техногенного походження." *Materiały XI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Naukowa przestrzeń Europy–2015»*. Sp. z oo «Nauka i studia», 2015.
33. Beresjuk, O., et al. "Prognose des volumens von gebäudeabfällen." *Theoretical and scientific foundations in research in Engineering*. 1.1: 13– 19. (2022).
34. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsianynkova L. Stetsiuk V., etc–International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
35. Березюк, О. В., М. С. Лемешев, and В. П. Ковальський. "Будівельні вироби з механо-активованих промислових, побутових відходів." (2023).
36. Усатюк, В. В. Перспективы использования техногенных отходов в области строительных материалов. Тюменский индустриальный университет, 2017.
37. Lemeshev, M., O. Bereziuk, and K. Sivak. "Features of the use of industrial waste in the field of building materials." *Scientific foundations in research in Engineering*. 1.2: 25–32. (2022).
38. Demchyna, B., et al. Scientific foundations of solving engineering tasks and problems. Vol. 2. International Science Group, 2021.
39. Лемешев, М. С., et al. "Перспективи використання техногенної сировини при виробництві композиційних в'язучих." *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. № 2: 36-45. (2022).

40. Березюк О.В. Визначення параметрів машин для поводження з твердими відходами : монографія /О.В. Березюк, М.С. Лемешев // Omni Scriptum Publishing Group, 2020. – 61 с.
41. Лемешев М. С. Комплексне використання промислових відходів в будівельній галузі / М. С. Лемешев // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р.
42. Христич О. В. Технологічні параметри виготовлення радіаційнозахисного бетону / О. В. Христич, М. С. Лемешев, Д. В. Черепаха //Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2020. – №. 1. С. 1-10.
43. Lemeshev, M., et al. "Complex binder based on industrial man-made waste." Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: 51–59. (2023).
44. Bereziuk, O., D. Cherepakha. "Forecasting the volume of construction waste." (2021)
45. Медведь, Я. О. Промислові відходи–альтернатива традиційним природним ресурсам. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
46. Лемешев, М. С., Сівак, К. К., Стаднійчук, М. Ю. (2021). Сучасні підходи комплексної переробки промислових техногенних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 31(2), 37-44.
47. Stadniychuk, M. Composite materials based on man-made waste. ВНТУ, 2021.
48. Лемешев М. С. Ніздрюваті бетони з використанням промислових відходів / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2017 : материалы международной научно-практической Интернет-конференции. – Москва : SWorld, 2017. – 7 с.
49. Bereziuk, O., et al. "Ukrainian prospects for landfill gas production at landfills." Theoretical aspects of modern engineering: 58-65. (2020).
50. Лемешев М. С. Радіозахисний металонасичений бетон поліфункціонального призначення / М. С. Лемешев, О. В. Христич, Д. В. Черепаха // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2019. – № 2. – С. 37-45.
51. Sivak, R. Features of processing of technogenic industrial waste in the construction industry. ВНТУ, 2021.
52. Lemeshev, M., O. Khrystych, and D. Cherepakha. "Perspective direction of recycling of industrial waste in the technology of production of building materials." (2020).
53. Палагнюк, С. В. Композиционные материалы полифункционального назначения. Тюменский индустриальный университет, 2012.

54. Lemeshev, M., et al. "Use of industrial waste in the construction industry." Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture: 19–25. (2023).
55. Вишне夫斯基, А. В. Использование металлических отходов в композиционных электропроводных бетонах. Тюменский индустриальный университет, 2011.
56. Лемешев, М. С. "Антистатичні покриття із бетелу-м." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: 217-223. (2004).
57. Иванов, О. А. Перспективи утилізації техногенних відходів у будівельній галузі. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
58. Лемешев, М. С., О. В. Христинч, and О. В. Березюк. "Комплексна переробка техногенних відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв." Materiály XI Mezinárodní vědecko-praktická konference «Aktuální vymoženosti vědy–2015». Publishing House «Education and Science» sro, 2015.
59. Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 p. (2020).
60. Лемешев, М. С. "Розробка радіозахисних будівельних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: ВНТУ, 2006, 244-250.
61. Сердюк, В. Р. "Формування структури анодних заземлювачів з бетелу-м для систем катодного захисту." Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. Вип. 35: 99-104. (2010).
62. Лемешев М.С., Березюк О.В., Христинч О.В. Технологічні особливості формування електротехнічних властивостей електропровідних бетонів // Мир науки и инноваций. 2015. № 1 (1). Т. 10. С. 74-78.
63. Stadniychuk, M., Composite conducted concrete for special purposes. Національний університет" Львівська політехніка", 2023.
64. Лемешев М.С. Покриття із бетелу-м для боротьби з зарядами статичної електрики / М.С. Лемешев, О.В. Христинч // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2009. – С. 29-31.
65. Sivak, K. Use of industrial waste for increased experimental properties in construction. Львів: Національний університет" Львівська політехніка", 2023.
66. Stadniychuk, M., Obtaining active mineral additives from industrial waste. Національний університет" Львівська політехніка", 2023.
67. Стаднійчук, М. Електропровідні бетони для захисту від статичної електрики. ВНТУ, 2019.

68. Лемешев М.С. Теоретические предпосылки создания радиопоглощающего бетона бетела-м / М. С. Лемешев // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – Макіївка: ДДАБА. – 2005. – №1. – С. 60-64.
69. Стаднійчук, М. С. Industrial waste recycling. ВНТУ, 2021.
70. Черепаха, Д. В. Металонаповнений бетон для виготовлення елементів систем антикорозійного захисту. Інститут проблем природокористування та екології НАН України, 2021.
71. Лемешев М. С. Радиоэкранирующие композиционные материалы с использованием отходов металлообработки / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Инновационное развитие территорий : материалы 2-й Междунар. науч.- практ. конф., 25–27 февраля 2014 г. – Череповец : ЧГУ, 2014. – С. 63
72. Зузяк, С. Ю. Виготовлення електродів для системи катодного захисту із електропровідного бетону. ВНТУ, 2018.
73. Мироненко, Д. В. Композиционные материалы для переработки отходов АЭС. Тюменский индустриальный университет, 2011.
74. Лемешев М.С. Металлонасыщенные бетоны для защиты от электромагнитного излучения // Вісник ОДАБА. 2013. № 33. С. 253-256.
75. Палагнюк, С. В. Композиционные материалы полифункционального назначения. Тюменский индустриальный университет, 2012.
76. Лемешев М.С., Березюк О.В. Електротехнічний бетон для виготовлення анодних заземлювачів // Інтелектуальний потенціал ХХІ століття '2017: матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції, 14-21 листопада 2017 р. – Одеса: SWorld, 2017.
77. Сердюк, В. Р., et al. "Пути использования дисперсных металлических шламов." (2004).
78. Лемешев М.С. Електропровідні бетони для захисту від статичної електрики // Перспективні досягнення сучасних вчених: матер. наук. симп., 19- 20 вер. 2017 р. Одеса. 5 с.
79. Khrystych, Olexander. "TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE RADIATION-RESISTANT CONCRETE PRODUCTION." Scientific Works of Vinnytsia National Technical University 1 (2020).
80. Gehl J. (2010). Cities for People. Washington D. C: Islandpress.
81. Sim D. (2019). Soft City. Building Density for Everyday Life. Washington-Covelon-London: Islandpress.
82. Speck J. (2018). Walkable City Rules: 101 Steps to Making Better Places. Washington D. C: Island Press.

83. Newman O. (1972). *Defensible Space: Crime Prevention Through Urban Design*. New York: Macmillan Publishing.
84. Jacobs J. (1961). *The death and life of great American cities*. New York: Random House
85. González M.F. (2019). *Punggol Neighbourhood and Polyclinic / Serie Architects + Multiply Architects*. Archdaily. Retrieved from <http://surl.li/tmgct>
86. Harrouk C. (2020). *Framlab Imagines Modular Vertical Urban Farms on the Streets of Brooklyn*. Archdaily. Retrieved from <http://surl.li/tmgdm>
87. Harrap C. (2019). *World's largest urban farm to open – on a Paris rooftop*. The Guardian. Retrieved from <http://surl.li/tmgcx>
88. Toneguzzi M. (2017). *Mixed-Use Development the Plant Raises Sustainability Bar and Takes on Urban Agriculture*. Retail Insider. Retrieved from <http://surl.li/tmggi>
89. Rosenfield K. (2014). *SPARK Proposes Vertical Farming Hybrid to House Singapore's Aging Population*. Archdaily. Retrieved from <http://surl.li/tmgdg>
90. *Hidden architecture*. Retrieved from <http://surl.li/tmggb>
91. Abdel H. (2023). *Urban Farming Office / VTN Architects*. Archdaily. Retrieved from <http://surl.li/tmgft>
92. *Supportive Housing [Електронний ресурс]* <https://www.bchousing.org/housing-assistance/housing-with-support/supportive-housing>
93. *Житлові умови населення: чинники, сучасний стан і політика регулювання / Л.М. Черенько, С.В. Полякова, В.С. Шишкін, В.С. Заяць, Ю.Л. Когатько, О.А. Васильєв, А.Г. Реут, Ю.А. Клименко, Т.В. Новосільська; Нац. акад. наук. Укр., Ін-т демогр. та соц. дослідж. ім. М.В. Птухи. [Електронний ресурс]* https://idss.org.ua/arhiv/living_conditions.pdf
94. *Supportive and Affordable Housing and Services [Електронний ресурс]* <https://www.nyc.gov/site/hra/help/supportive-housing.page>
95. *Supportive Housing [Електронний ресурс]* <https://www.bchousing.org/housing-assistance/housing-with-support/supportive-housing>
96. *Supportive Housing For Adults wich Autism Spektrum Disorder [Електронний ресурс]* <https://indd.adobe.com/view/2f31c239-ef06-43cb-aca7-4e2943f8396e>
97. *Building Hope Transforming Lives. Step Up Санта Моніка [Електронний ресурс]* <https://www.stepup.org/>
98. *Dezeen. Alexander Gorlin creates colourful affordable housing for single adults in The Bronx [Електронний ресурс]* <https://www.dezeen.com/2016/07/18/alexander-gorlin-boston-road-colourful-affordable-housing-for-single-adults-the-bronx-new-york/>

99. Dezeen. Willowbrook Apartments [Електронний ресурс] <https://www.dezeen.com/2022/09/13/lehrer-architects-willowbrook-apartments-la-disabled-veterans/>
100. Dezeen. Architects for Society designs low-cost hexagonal shelters for refugees [Електронний ресурс] <https://www.dezeen.com/2016/04/14/architects-for-society-low-cost-hexagonal-shelter-housing-refugees-crisis-humanitarian-architecture/>
101. Wayss Youth Transition Hub / BENT Architecture [Електронний ресурс] <https://www.archdaily.com/951386/wayss-youth-transition-hub-bent-architecture>
102. Las Perdices Social Housing / Gubbins Arquitectos, Polidura + Talhouk Arquitectos [Електронний ресурс] https://www.archdaily.com/909252/las-perdices-social-housing-gubbins-arquitectos-polidura-plus-talhouk-arquitectos/5c23f0bd08a5e513d8000068-las-perdices-social-housing-gubbins-arquitectos-polidura-plus-talhouk-arquitectos-photo?next_project=no
103. Хмарочос. У Польщі створили інклюзивний будинок для бездомних [Електронний ресурс] <https://hmarochos.kiev.ua/2022/09/15/u-polshhi-stvoryly-inklyuzyvnyj-budynok-dlya-bezdomnyh/>
104. Вільне радіою Новини. Де переселенцям знайти безкоштовне житло у Львівській області (адреси) [Електронний ресурс] <https://freeradio.com.ua/de-pereselentsiam-znaity-bezkoshtovne-zhytlo-u-lvivskii-oblasti-adresy/>
105. Твоє місто. У львівському парку відкрили контейнерне містечко для переселенців. [Електронний ресурс] https://tvoemisto.tv/news/u_stryyskomu_parku_vidkryly_konteynerne_mistechko_dlya_350_pereselentsiv_foto_131062.html
106. ДСТУ ENISO / ІЕС 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
107. МПУ 003/04-2014 Рекомендації. Метрологія. Манометри, вакуумметри, мановакуумметри, напороміри, тягоміри і тягонапороміри показуючі та самописні. Методика повірки.
108. ГОСТ 23696-79 Барометри мембранні метеорологічні. Технічні умови
109. EA-4/02 Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration (Вираз невизначеності вимірювань при калібруванні).
110. СЕС. Brussels, 25.2.2015(COM, 2015)80 final energy union package; a framework strategy for a resilient energy union with a forward- looking climate change policy. European Commission, Brussels; 2015.
111. Correljé A. Natural gas: a tale of three markets. In: Finger M, Jaag C, editors. The Routledge companion to network industries. London: Routledge; 2016.
112. Neumann A, von Hirschhausen C. Natural gas: an overview of a lower-carbon transformation fuel. Rev Environ Econ Policy. 2015;9(1):64–84. winter 2015.

113. Westphal K. Institutional change in European natural gas markets and implications for energy security: lessons from the German case. *Energy Policy*. 2014;74:35–43.
114. Joskow PJ. Regulation of natural monopolies. In: Polinsky AM, Shavell S, editors. *Handbook of law and economics*, volume 2. Elsevier; 2007.
115. Correljé A, Groenleer M, Veldman J. Understanding institutional change: the development of institutions for the regulation of natural gas supply systems in the US and the EU. *Compet Regul Netw Ind*. 2014;15(1):2–13.
116. MacAvoy PW. *The natural gas market: sixty years of regulation and deregulation*. New Haven: Yale University Press; 2000.
117. Makholm JD. *The political economy of pipelines*. Chicago: University of Chicago Press; 2012.
118. Correljé AFJG, Van der Linde JG, Westerwoudt T. *Natural gas in the Netherlands: from cooperation to competition? The Hague: Clingendael International Energy Programme/Oranje Nassau*; 2003.
119. Estrada J, Bergesen HO, Moe A, Sydnes AK. *Natural gas in Europe. Markets, organisation and politics*. London: Pinter; 1988.
120. Estrada J, Moe A, Dahl Martinsen K. *The development of European gas markets: environmental, economic and political perspective*. Chichester: Wiley; 1995.
121. Peebles MWH. *Evolution of the gas industry*. London: The MacMillan Press
Correljé
122. Caban J., Litak G., Ambrozkiewicz B., Gardyński L., Stączek P., Wolszczak P. Impact-based piezoelectric energy harvesting system excited from diesel engine suspension. *Appl. Comp. Scien*. 2020, 16, 16–29.
123. Konečný V., Gnap J., Settey T., Petro F., Skrúcaný T., Figlus T. Environmental Sustainability of the Vehicle Fleet Change in Public City Transport of Selected City in Central Europe. *Energies* 2020, 13, 3869.
124. Miola A., Ciuffo B. Estimating air emissions from ships: Meta-analysis of modelling approaches and available data sources. *Atmos. Environ*. 2011, 45, 2242–2251.
125. Cockett N. *Neil Cockett on Bunkers*; LLP Professional Publishing: London, UK, 1997.
126. Jurkovic M., Kalina T., Kadnar R., Illes L. Black Sea–Caspian Sea scenario of LNG transport. In *Proceedings of the Transport Means–Proceedings of the International Conference 2019, Palanga, Lithuania, 2–4 October 2019*; pp. 1229–1233.
127. Magnier H.J., Jrad A. A minimal simplified model for assessing and devising global LNG equilibrium trade portfolios while maximizing energy security. *Energy* 2019, 173, 1221–1233.

128. Sesini M., Giarola S., Hawkes A.D. The impact of liquefied natural gas and storage on the EU natural gas infrastructure resilience. *Energy* 2020, 209, 118-167
129. Osadume R., Blessing U.C. Maritime Trade and Economic Development: A Granger Causality and Bound Test Approach. *LOGI Sci. J. Transp. Logist.* 2020, 11, 23–32.
130. Nwokedi T.C., Okoroji L.I., Okonko I., Ndikom O.C. Estimates of Economic Cost of Congestion Travel Time Delay between Onne-Seaport and Eleme-Junction Traffic Corridor. *LOGI Sci. J. Transp. Logist.* 2020, 11, 33–43.
131. Dorigoni S., Portatadino S. LNG development across Europe: Infrastructural and regulatory analysis. *Energy Policy* 2008, 36, 3366–3373.
132. Galieriková A., Sosedová J. Intermodal Transportation of Dangerous Goods. *Nase More* 2018, 65, 8–11.
133. Pfoser S., Schauer O., Costa Y. Acceptance of LNG as an alternative fuel: Determinants and policy implications. *Energy Policy* 2018, 120, 259–267.
134. Solesvik M. Exploitation of Compressed Natural Gas Carrier Ships in the High North. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*; Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 46–54.
135. S.W. Lund, T.L Boyd. Direct utilization of geothermal energy 2015 word wade review. *Geothermic* 60 (2016) 66-93.
136. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovliuvalnykh dzherel enerhii.- Kyiv.- 2012.- S.15.
137. A.A. Dolinskyi. Neotermalna enerhetyka: vyrobnytstvo elektrychnoi ta teplovoi enerhii / Dolinskyi A.A., Khalatov A.A. // *Visnyk NAN Ukrainy.*-2016.- № 11 .-S. 76-86.
138. Morozov Yu.P. Dobycha geotermal'nykh resursov i akumulirovaniye teploty v podzemnykh gorizontakh: [Monografiya] /– Kyiv: Naukova dumka, 2017. – 198 s.
139. Литвинов В.Г., Литвинова Н.Ф. Новая технология сухого обогащения углей. *Уголь Украины.* 2003. № 7. С. 41–43.
140. ООО «Компания «Уголь-Трейд». Новые технологии в обогащении угля. *Уголь.* 2003. № 10. С. 26—27.
141. Компания НПК ГРАВИКОН. URL: <https://gravicon.biz/obogaschenie-uglya/>.
142. Анисимов Н.Т., Голубничий В.Г., Багмут З.В. Отработка технологии для индивидуальных обогатительных установок шахт. *Уголь Украины.* 2003. № 3. С. 40—41.
143. Пилов П.И., Кирнарский А.С., Кочетов В.В. Мокрая винтовая сепарация как средство совершенствования технологии обогащения. Обогащение полезных ископаемых. 1999. Вып. 4. С. 3–7.

144. Кирнарский А.С. Перспективные методы обогащения мелких и тонких углей. Обогащение полезных ископаемых. 1999. Вып. 3(44). С. 35–42.
145. Повный С.Н. Современные подходы к обогащению углей, поставляемых на тепловые электростанции, в контексте решения ресурсноэнергетической проблемы. Глюкауф. 2004. № 2. С. 62–65.
146. Полулях А.Д., Курченко И.П., Милай А.А. Об экономической эффективности обогащения рядовых углей пятью машинными классами. Обогащение полезных ископаемых. 2000. Вып. 10. С. 8–12.
147. Макаров В.М. Аналіз стану засмічення вугілля в процесі його видобування. Проблеми загальної енергетики. 2008. № 1(17). С. 78–83.
148. Благоев И.С., Коткин А.М., Зарубин Л.С. Справочник по обогащению углей. М.: Недра, 1984. 614 с.
149. Жиленко, Н., & Бойко, Т. Сучасний стан зеленої зони центральної садиби Державного підприємства «Олешківське лісомисливське господарство». interconf, (29) 2020.
150. Дворна А., Фоменко І. ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ЛІСОВОЇ КУЛЬТУРИ PINUS SYLVESTRIS L. У ВІДКРИТОМУ ҐРУНТІ В УМОВАХ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ. Матеріали конференцій МНЛ. 23 червня 2023 р., м. Дніпро. С. 104-106.
151. Рекомендації щодо визначення якісного та кількісного впливу шкідливих комах і збудників хвороб на стан лісових культур, створюваних на великих згарищах. Відпов. укладач В.Л. Мешкова. Х., 2014. 32 с.
152. Санітарні правила в лісах України : Затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2016 р. № 756 URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-%D0%BF> (дата звернення: 15.09.2022р.)
153. Зміни до Інструкції з технічної інвентаризації зелених насаджень у містах та селищах міського типу України: Затверджені наказом від 16.01.2007 р., № 8 Міністерства будівництва, архітектури та житлово – комунального господарства України. 18 с.
154. Клімат Олешківського району. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Олешківські_піски.
155. Інструкція з технічної інвентаризації зелених насаджень у містах і селищах міського типу України: Затверджена наказом від 24.12.2001 р., № 226 Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики. с. 18
156. Хвороби Та Шкідники Сосни - Описи, Фотографії, Контроль. URL: <https://nice-garden.net/6816341-pine-diseases-and-pests-descriptions-photos-control>.

157. В.Л. Мешкова, О.М. Кукіна, Ю.Є. Скрильник, О.В. Зінченко, І.М. Соколова, К. В. Давиденко, С.В. Назаренко, І.О. Бобров, В.Л. Борисова, Я.В. Кошеляєва., Рекомендації щодо комплексного лісопатологічного обстеження насаджень для виявлення нових інвазійних шкідливих організмів та їхнього впливу на стан насаджень . 2019. 22 с.
158. Методичні вказівки зі збору інформації для повидільної бази лісових насаджень України, в яких відмічені патологічні процеси. Усцький І.М. Харків, 2008. 14 с.
159. Andrushchak I. Software system technologies for detection of confidential information / I. Andrushchak, V. Shevchuk, Y. Yavir, S. Andrusik // Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Ankara, Turkey. May 02-05, 2023. Pp. 346-351.
160. Burnet S., Payne S.: Cryptography. RSA Security Official Guide – М. "Bynom", 2012. - 325 p.
161. Gribunyn V.G., Okov I.N., Turintsev I.V. Digital steganography. – М.: Solon-Press, 2002. - 272 p.
162. Zhilkin M. Yu. Stegoanalysis of graphic data based on compression methods // Herald of SybGUTY. – 2008. No. 2. – P. 62–66.
163. Konakhovich G.F. Computer steganography. Theory and practice / G.F. Konakhovich, A.Yu. Puzyrenko. - К.: МК-Press, 2006. – 288 p.
164. Kuvshinov S.S. Methods and algorithms for hiding large volumes of data on the basis of steganography / Dissertation for the application of the degree of Candidate of Technical Sciences. - St. Petersburg. 2010. – 116 p.
165. Martseniuk V. Features of testing different models of software development / V. Martsenyuk, A. Sverstiuk, I. Andrushchak // Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference. Milan, Italy. 2023. pp. 619-624. URL: <https://isg-konf.com/current-issues-of-science-and-integrated-technologies> /Available at : DOI: 10.46299/ISG.2023.1.1
166. Melnyk S.V. Global trends in the development of digital steganography in the context of the tasks of ensuring the information security of the state // Actual problems of managing the information security of the state: К.: Scientific Publishing House Department of the National Security Agency of Ukraine, 2010. – P. 134-138.
167. Nils Ferguson, Bruce Schneier Practical Cryptography: Designing and Implementing Secure Cryptographic Systems. Dialektika, 2012. – P. 432.
168. Pavlov K.A. Computer security. Cryptographic protection methods. DMK, 2010. – 233 p.
169. IHS Markit LTD (Prepared for the AAMC), «The Complexities of Physician Supply and Demand: Projections from 2019 to 2034 AAMC,» 2021.

170. S. Bach, A. Binder, G. Montavon, F. Klauschen, K.-R. Müller та W. Samek, «On Pixel-Wise Explanations for Non-Linear Classifier Decisions by Layer-Wise Relevance Propagation,» PLoS ONE, т. 10, № 7, 2015.
171. W. Samek, T. Wiegand та K.-R. Müller, «Explainable Artificial Intelligence: Understanding, Visualizing and Interpreting Deep Learning Models,» arXiv, 2017
172. R. Caruana, Y. Lou, J. Gehrke, P. Koch та M. Sturm, «Intelligible models for healthcare: Predicting pneumonia risk and hospital 30-day readmission.,» в 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2023
173. A. Maity, «Improvised Salient Object Detection and Manipulation,» arXiv, 2015
174. N. Arun, N. Gaw, P. Singh, K. Chang, K. Hoebel, J. Patel, M. Gidwani та J. Kalpathy-Cramer, «Assessing the validity of saliency maps for abnormality localization in medical imaging,» в Medical Imaging with Deep Learning, Montreal, Canada, 2020
175. R. R. Selvaraju, A. Das, R. Vedantam, M. Cogswell, D. Parikh та D. Batra, «Localization, Grad-CAM: Why did you say that? Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-based,» arXiv, 2016.
176. S. Singla, B. Pollack, J. Chen та K. Batmanghelich, Explanation by Progressive Exaggeration, arXiv, 2019.
177. J. P. Cohen, R. Brooks, S. En, E. Zucker, A. Pareek, M. P. Lungren та A. Chaudhari, Gifsplanation via Latent Shift: A Simple Autoencoder Approach to Counterfactual Generation for Chest X-rays, arXiv, 2021.
178. Пропозиції щодо визначення поняття бойової готовності військових частин (підрозділів) зенітних ракетних військ та військ протиповітряної оборони Сухопутних військ для оцінки її впливу на ефективність бойових дій / М. П. Деменко, О. В. Кулешов, О. С. Петренко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. - 2018. - № 2. - С. 14-21. DOI: 10.30748/zhups.2018.56.02.
179. В.В. Бурцев, В.В. Воронін, О.В. Коломійцев, М.М. Романюк та інші. Оцінка боєготовності зразків зенітного ракетного озброєння у період мирного часу. Збірник доповідей X International Scientific and Practical Conference EDUCATION, INNOVATION: TOPICAL ISSUES AND MODERN ASPECTS held on April 16-18, 2024 in Tallinn, Estonia. №196. P. 394-402. DOI 10.51582/interconf.2024.196.
180. В.В. Бурцев, В.В. Воронін, В.Ф. Третяк, В.В. Бурцева та інші. Оцінка боєготовності зразків зенітного ракетного озброєння у період воєнного часу. Збірник доповідей XV International Scientific and Practical Conference Horizon in the Context of Social Crises held on April 26-28, 2024 in Tokyo, Japan. №198. P. 497-504. DOI 10.51582/interconf.2024.198.

181. В.В. Воронін, В.В. Бурцев, М.П. Деменко, А.М. Печкін, В.Ф. Третьак, В.В. Бурцева та інші. Підхід до визначення показників боєготовності виробів зенітного ракетного озброєння. Збірник доповідей VIII International Scientific and Practical Conference INTERNATIONAL SCIENTIFIC DISCUSSION: PROBLEMS, TASKS AND PROSPECTS held on May 19-20, 2024 in Brighton, United Kingdom. №45 (201) P. 661-676. DOI 10.51582/interconf.19-20.05.2024.
182. Воронін, В., Бурцев, В., Коломійцев, О., Деменко, М., Старцев, В., Третьак, В., Кулешов, О., Клівець, С., Приходько, С., Кудря та інші. Впровадження планово-попереджувальної стратегії технічного обслуговування і ремонту для модернізованих зразків зенітного ракетного озброєння. Scientific Collection «InterConf+», 42(189), 656–671. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.02.2024.066>.
183. 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.
184. V. Dudnyk, Yu. Sinenko, M. Matsyk, Ye. Demchenko, R. Zhyvotovskiyi, 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>.
185. 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>.
186. 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>.
187. P. Zuiev, R. Zhyvotovskiy, O. Zvieriev, S. Hatsenko, V. Kuprii, O. Nakonechniy, M. Adamenko, A. Shyshatskiy, 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>.
188. A. Shyshatskiy, 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>.

189. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276168>.
190. Koval, V., Nechyporuk, O., Shyshatskyi, A., Nalapko, O., Shknai, O., Zhyvylo, Y., Yerko, V., Kremynskyi, 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>.
191. 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.
192. 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/meps.2017.10/1754](https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754).
193. Симанков В. С., Путятю М. М. Исследование методов когнитивного анализа. *Системный анализ, управление и обработка информации*. 2013, № 13. С. 31–35.
194. 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>.
195. 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>.
196. 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>.
197. 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>.
198. 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>.
199. 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>.

200. I. Gödri, C. Kardos, A. Pfeiffer, J. Váncza. 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>.
201. 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).
202. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *Intern. Journal of Man-Machine Studies*. 1986., Vol. 1., pp. 65–75.
203. Горелова Г.В. Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2013. № 3. С. 239–250.
204. 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.
205. 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>.
206. 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>.
207. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М., Емельянов В. В. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. –432 с.
208. Гороховатський В., Стяглик Н., Царевська, В. Комбінаційний метод прискороного метричного пошуку даних у задачах класифікації зображень. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Том 5, № 3, с. 5–12. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>.
209. Levashenko, V., Liashenko, O., Kuchuk, H. 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>.
210. Meleshko, Y., Drieiev, O., Drieieva, H. Метод ідентифікації профілів ботів на основі нейронних мереж у рекомендаційних системах. *Сучасні інформаційні системи*, Том 4, № 2, с. 24–28. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>.

211. 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>.
212. 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>.
213. 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>
214. 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>
215. 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>.
216. 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>.
217. Tarkhan, A. B., Zhuravskyi, Y., Shyshatskyi, 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>.
218. Koval, V., Shyshatskyi, A., Ransevych, R., Gura, V., Nalapko, O., Shypilova, L., Protas, N., Volkov, O., Stanovskyi, 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>
219. Koval M., Sova O., Shyshatskyi 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.

220. 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.
221. Nina Kuchuk, Amin Salih Mohammed, Andrii Shyshatskyi 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.
222. Analysis of mathematical apparatus for managing channel and network resources of military radio communication systems / O.Nalapko, R. Pikul, P. Zhuk, A. Shyshatskyi. // 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.
223. O. Nalapko, A. Shyshatskyi, 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.
224. I. Alieinykov, K. A. Thamer, Y. Zhuravskiy, O. Sova, N. Smirnova, R. Zhyvotovskiy, S.Hatsenko, S. Petruk, R. Pikul, A. Shyshatskyi. 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>.
225. 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.
226. 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>.
227. 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>.

228. 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>.
229. 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>.
230. Sova, O., Zhuravskyi, 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>.
231. 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>.
232. 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., Stadnijtschuk 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/>*
233. Романов О. М., Шишацький А. В., Налапко О. Л. Розробка методу підвищення оперативності передачі інформації в мережах спеціального призначення. *Modernn aspekty vědy: XXI. Dní mezinbrodnn kolektivnn monografie / Mezinbrodnn Ekonomickэ Institut s.r.o.. Českб republika: Mezinbrodnn Ekonomickэ Institut s.r.o., 2022. С. 381-403.*
234. 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.*

235. 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>.
236. Shyshatskiy, A., Hurskiy, T., Vdovytskyi, 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>.
237. Mohammed, B. A., Zhuk, O., Vozniak, R., Borysov, I., Petrozhalko, V., Davydov, I., Borysov, O., Yefymenko, O., Protas, N., & Kashkevich, S. Improvement of the solution search method based on the cuckoo algorithm . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023, Vol. 2, No. 4 (122), pp. 23–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277608>.
238. Mamoori, G. A., Sova, O., Zhuk, O., Repilo, I., Melnyk, B., Sus, S., Bondarchuk, M., Kashkevich, S., Moroz, M., & Klyuchak, O. The development of solution search method using improved jumping frog algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023, Vol. 4, No. 3 (124), pp. 45–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285292>.
239. Shyshatskiy, A., Romanov, O., Shknai, O., Babenko, V., Koshlan, O., Pluhina, T., Biletska, A., Stasiuk, T., & Kashkevich, S. Development of a solution search method using the improved emperor penguin algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023, Vol. 6, No. 4 (126), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.291008>.
240. Tamer, K. A., Sova, O., Shaposhnikova, O., Yashchenok, V., Stanovska, I., Shostak, S., Rudenko, O., Petruk, S., Matsyi, O., & Kashkevich, S. Development of a solution search method using a combined bio-inspired algorithm. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2024, Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205>.
241. Шишацький А. В., Жук О. В., Неронов С.М., Протас Н. М., Кашкевич С. О. “Сукупність методик підвищення оперативності прийняття рішень з використанням метаевристичних алгоритмів”. Монографія. С91 Moderní aspekty vědy: XL. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. pp. 529 – 557. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/mono-40.pdf>.
242. Шишацький А. В., Маций О. Б., Яценюк В. Ж., Троцько О. О. Кашкевич С. О. “Сукупність методик підвищення оперативності прийняття рішень з використанням комбінованих метаевристичних алгоритмів”. Монографія. С91 Moderní aspekty vědy: XL. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. pp. 558 – 594. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/mono-40.pdf>.

243. Шишацький А. В., Кашкевич С. О. “Аналіз форм та способів застосування безпілотних літальних апаратів”. XXII Міжнародна науково-практична конференція “Modern theories and improvement of world methods”, 06 – 09 червня 2023, Гельсінкі, Фінляндія. С. 516 – 520. URL: <https://isg-konf.com/uk/modern-theories-and-improvement-of-world-methods/>.
244. Кузьменко О. М., Стасюк Т. О., Кашкевич С. О. “Використання безпілотних літальних апаратів в сучасних телекомунікаційних мережах”. XVI Міжнародна науково-практична конференція “Methods of solving complex problems in science”, 25 – 28 квітня 2023, Прага, Чехія. С. 525 – 530. URL: <https://isg-konf.com/uk/methods-of-solving-complex-problems-in-science/>.
245. Апенько Н. В., Кашкевич С. О. “Побудова уніфікованих моделей представлення знань в експертних системах управління”. Міжнародна науково-практична конференція “Теоретико-практичні аспекти розвитку науки, освіти та суспільства”, 28 квітня 2023, Україна, Рівне. С. 72 – 73. URL: <https://www.economics.in.ua/2023/04/28-2023.html>.
246. Нечипорук О. П., Кашкевич С. О., Голего Н. М. “Метод децентралізованого управління мережевими ресурсами інформаційно-комунікаційних мереж”. XIX Міжнародна науково-практична конференція “Innovative approaches to solving scientific problems”, 16 – 19 травня 2023, Токіо, Японія. С. 454 – 458. URL: <https://isg-konf.com/uk/innovative-approaches-to-solving-scientific-problems/>.
247. Нечипорук О. П., Кашкевич С. О., Юдіна Л. Г. “Аналіз технічних характеристик гібридних безпроводних мереж”. XXIV Міжнародна науково-практична конференція “Information and innovative technologies in education in modern conditions”, 20 – 23 червня 2023, Варна, Болгарія. С. 391 – 396. URL: <https://isg-konf.com/uk/information-and-innovative-technologies-in-education-in-modern-conditions/>.
248. Кучук Н. Г., Шишацький А. В., Нечипорук В. В., Шапошнікова О. П., Кашкевич С. О. “Розробка методу оцінки захищеності складних технічних систем з використанням штучних імунних систем”. XXVIII Міжнародна науково-практична конференція “Science and development of methods for solving modern problems”, 18 – 21 липня 2023, Мельбурн, Австралія. С. 202 – 209. URL: <https://isg-konf.com/uk/science-and-development-of-methods-for-solving-modern-problems/>.
249. Вітрук Ю. В., Тупота Є. В., Кашкевич С. О. “Аналіз методів багатошляхової маршрутизації в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах”. V Міжнародна науково-практична інтернет-конференція “Integration of education, science and business in modern environment: summer debates”, 3 – 4 серпня 2023, Україна, Дніпро. С. 254 – 256. URL: <http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2023/08/Conference-Proceedings-3-4-August-2023.pdf>.

250. Кашкевич С. О. “Аналіз моделей дослідження складних технічних систем”. XXXIII Міжнародна науково-практична конференція “Modern scientific technologies and solutions of scientists to create the latest ideas”, 22 – 25 серпня 2023, Лондон, Велика Британія. С. 290 – 294. URL: <https://isg-konf.com/uk/modern-scientific-technologies-and-solutions-of-scientists-to-create-the-latest-ideas/>.
251. Шишацький А. В., Шкнай О. В., Налапко О. Л., Білецька А. В., Кашкевич С. О. “Аналіз підходів до впливу засобами радіоелектронного придушення на мережецентричну систему управління”. XXXIV Міжнародна науково-практична конференція “Science, latest trends, modern problems and improvement of theories”, 29 серпня – 01 вересня, 2023, С. 197 – 206. URL: <https://isg-konf.com/uk/science-latest-trends-modern-problems-and-improvement-of-theories/>.
252. Шишацький А. В., Кашкевич С. О., Тупота Є. В. “Аналіз математичних моделей маршрутизації в бездротових мережах спеціального призначення”. XXXV Міжнародна науково-практична конференція “Modern methods of solving scientific problems of reality”, 05 – 08 вересня 2023, Варна, Болгарія, С. 185 – 193. URL: <https://isg-konf.com/uk/modern-methods-of-solving-scientific-problems-of-reality/>.
253. Кашкевич С. О., Возниця А. С. “The development of methods for finding solutions using the improved of locusts swarm algorithm”. VII Міжнародна науково-практична конференція “Global problems of improving scientific inventions”, 31 жовтня – 03 листопада, 2023, Копенгаген, Данія. С. 271 – 276. URL: <https://isg-konf.com/uk/global-problems-of-improving-scientific-inventions/>.
254. Шишацький А. В., Литвиненко О. І., Жук О. В., Артюх С. Г., Кашкевич С.О. “Розробка методики підвищення оперативності прийняття рішень в організаційно-технічних системах”. XIII Міжнародна науково-практична конференція “Development trends and improvement of old methods”, 12 – 15 грудня 2023, Варшава, Польща. С. 422 – 431. URL: <https://isg-konf.com/uk/development-trends-and-improvement-of-old-methods/>.
255. Шишацький А. В., Плющ Т. М., Кашкевич С. О. “Розробка методу оцінювання складних ієрархічних систем на основі удосконаленого алгоритму рою частинок”. XII Наукова конференція “Наукові підсумки 2023 року”. Збірник тез доповідей. – Харків, Х.: Технологічний центр, 2023. С. 64. URL: <https://entc.com.ua/uk/konferentsii/610-naukovi-pidsumky-roku>.
256. Шишацький А. В., Кашкевич С. О., Тупота Є. В. “Модель взаємодії відкритих систем для безпілотних авіаційних комплексів”. IV Міжнародна науково-практична конференція “Contemporary challenges of society and ways to overcome them”, 30 січня – 02 лютого 2024 р., Таллінн, Естонія. С. 280 – 288. URL: <https://isg-konf.com/uk/contemporary-challenges-of-society-and-ways-to-overcome-them/>.

257. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Шкнай О. В., Троцько О. О., Шишацький А. В. Математична модель інформаційного конфлікту інформаційних мереж. XVII International Scientific and Practical Conference. April 30 – May 03, 2024, London, Great Britain. pp. 412–422. URL: <https://isg-konf.com/the-latest-technologies-in-the-development-of-science-business-and-education/>.
258. Organisation for Economic Cooperation and Development. Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach (Russian version). Paris, 2010. 298 с.
259. Дубровик-Рохова А. Дорогие дороги. День. Київ, 2018. № 60. С. 3.
260. Краснодемський В. Безпека на дорозі – проблема національна. Голос України. Київ, 11.05.2011. С. 5.
261. Симбірський Г.Д. Система безпеки дорожнього руху на основі інформаційних технологій. Комп'ютерні технології і мехатроніка: зб. наук. праць за матеріалами 5 міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 28 травня 2023). Харків, 2023, с. 53-57.
262. Симбірський Г.Д. Інформаційна технологія дистанційного примусового обмеження швидкості транспортних засобів для підвищення безпеки дорожнього руху. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: зб. наук. пр., Харків, 2020, вип. 17, сс. 54-62, <https://doi.org/10.30977/VEIT.2020.17.0.54>.
263. Безрідний В.В. Ідентифікація транспортних засобів за допомогою відеокамер. Збірник наукових праць за матеріалами II Міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерні технології і мехатроніка», Харків, ХНАДУ, 2020, сс. 198-201.
264. Симбірський Г.Д. Застосування інформаційних технологій та мікропроцесорної техніки для зниження аварійності на автошляхах. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: зб. наук. праць, Харків, 2020, вип. 18, сс. 65-76, <https://doi.org/10.30977/VEIT.2020.18.65>.
265. Симбірський Г.Д. Аналіз методів виявлення аномалій у відеоряді камер відеоспостереження на транспорті. Вісник ХНАДУ, зб. наук. праць, Харків, ХНАДУ, 2022, № 98, сс. 26-37, <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2022.98.0.26>.
266. EU Rules Intelligent Speed Assistance In All New Cars By 2022. 2019. URL: [https:// industryeurope.com/eu-rules-intelligent-speed-assistance-in-all-new-cars-by-2022/](https://industryeurope.com/eu-rules-intelligent-speed-assistance-in-all-new-cars-by-2022/) (дата звернення: 20.05.2020).
267. Intelligent Speed Adaptation. 2020. URL: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/speed/new_technologies_new_opportunities/intelligent_speed_adaptation_isa_en (дата звернення: 20.05.2020).

268. WHO global water, sanitation and hygiene: annual report 2022. Geneva: World Health Organization; 2023.
269. Smith, J., Doe, E., & Lee, R. (2021). Impact of Environmental Disasters on Water Quality. *Journal of Environmental Management*, 66(3), pp. 457-469.
270. Stokal, V., Kurovska, A., Stokal, M. (2023). More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 20(1), 2281920.
271. Hapich, H., Zahrytsenko, A., Sudakov, A., Pavlychenko, A., Yurchenko, S., Sudakova, D., Chushkina, I. (2024). Prospects of alternative water supply for the population of Ukraine during wartime and post-war reconstruction. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 289-300.
272. Vyshnevskiy, V., Shevchuk, S., Komorin, V., Oleynik, Y., Gleick, P. (2023). The Destruction of the Kakhovka Dam and Its Consequences. *Water International*, 48(5), 631-47.
273. Epoyan, S., Airapetian, T., Haiduchok, O., Sukhorukov, G., Kravchuk, O. (2023) Methods of combined horizontal settler research. *Proceedings of the International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering STUE-2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. 536, 360-367. doi: 10.1007/978-3-031-20141-7_33
274. Han, Y., Xu, Z., & Gao, C. (2013). Ultrathin Graphene Nanofiltration Membrane for Water Purification. *Advanced Functional Materials*, 23. <https://doi.org/10.1002/adfm.201202601>.
275. Gao, W., Liang, H., Ma, J., Han, M., Chen, Z., Han, Z., & Li, G. (2011). Membrane fouling control in ultrafiltration technology for drinking water production: A review. *Desalination*, 272, 1-8. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2011.01.051>.
276. Ultrafiltration (UF). URL: <https://watermanaustralia.com/water-quality-requirement-for-various-kind-of-power-plants/>
277. Jiang, L., Tu, Y., Li, X., & Li, H. (2018). Application of reverse osmosis in purifying drinking water. , 38, 01037. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/20183801037>.
278. Feng-chun, L. (2006). Application of Reverse Osmosis in the Treatment of Liquor Blending Water. *Liquor-making Science & Technology*.
279. Wenten, I., & , K. (2016). Reverse osmosis applications: Prospect and challenges. *Desalination*, 391, 112-125. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2015.12.011>.
280. Ahuchaogu, A., Chukwu, O., Obike, A., Igara, C., Chidi, N., & Echeme, J. (2018). Reverse Osmosis Technology, its Applications and Nano-Enabled Membrane. *International Journal of Advanced Research in Chemical Science*, 5, 20-26. <https://doi.org/10.20431/2349-0403.0502005>.

281. Glazer R., Benedict L., Paudyal R. (2021) Towards developing a strategic approach to evaluating the role of endocrine disrupting chemicals on the south Florida marine environment. Technical Report. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12285.28648>
282. Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T. (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*, 216, 1-76. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2006.12.009>.
283. Thampy, S., Desale, G., Shahi, V., Makwana, B., & Ghosh, P. (2011). Development of hybrid electro dialysis-reverse osmosis domestic desalination unit for high recovery of product water. *Desalination*, 282, 104-108. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2011.08.060>.
284. Matin, A., Rahman, F., Shafi, H., & Zubair, S. (2019). Scaling of reverse osmosis membranes used in water desalination: Phenomena, impact, and control; future directions. *Desalination*. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2018.12.009>.
285. Al-Abri, M., Al-Ghafri, B., Bora, T., Dobretsov, S., Dutta, J., Castelletto, S., Rosa, L., & Boretti, A. (2019). Chlorination disadvantages and alternative routes for biofouling control in reverse osmosis desalination. *npj Clean Water*, 2, 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41545-018-0024-8>.
286. Gupta, V., & Ali, I. (2013). *Water Treatment by Reverse Osmosis Method*. , 117-134. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59399-3.00004-0>.
287. Wulansarie R., Bismo S. Synergy of ozone technology and UV rays in the drinking water supply as a breakthrough of diarrhea diseases in Indonesia. *Waste Technology (WasTech)*. 2015. Vol. 3(2). – P. 55 – 57.
288. Broadwater, W.T., Hoehn, R.C, and King, P.h. (1973) Sensitivity of Three Selected Bacterial Species to Ozone, Virginia, American Society for Microbiology. 26 p.
289. MAYER, R. E. (2009). MULTIMEDIA LEARNING (2ND ED.). CAMBRIDGE, ENGLAND: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
290. LABOUR PROTECTION // [KAHOOT.IT/SOLO/?QUIZID=61186CE8-981B-4313-98D8-3655A1B77C62&USERID=9CCEB46F-9977-461C-94AF-7A59CED07F6C](https://kahoot.it/quizid=61186CE8-981B-4313-98D8-3655A1B77C62&userid=9CCEB46F-9977-461C-94AF-7A59CED07F6C)
291. QUIZZES LABOUR PROTECTION AND LIFE SAFETY // [HTTPS://JEOPARDYLABS.COM/PLAY/2021-11-10-653](https://jeopardylabs.com/play/2021-11-10-653)
292. DAVIS G. PRINCIPLES OF MULTIMEDIA LEARNING [ЕЛЕКТРОННИЙ РЕСУРС] / G. DAVIS, M. NORMAN. – 2016. – РЕЖИМ ДОСТУПУ ДО РЕСУРСУ: [HTTPS://CTL.WILEY.COM/PRINCIPLES-OF-MULTIMEDIA-LEARNING/](https://ctl.wiley.com/principles-of-multimedia-learning/).
293. IKANUBUN L. MULTIMEDIA FOR LEARNING [ЕЛЕКТРОННИЙ РЕСУРС] / LUCIA EKAWATI IKANUBUN. – 2022. – РЕЖИМ ДОСТУПУ ДО РЕСУРСУ: [HTTPS://WWW.STRUCTURAL-LEARNING.COM/POST/MULTIMEDIA-FOR-LEARNING](https://www.structural-learning.com/post/multimedia-for-learning).

294. BOKSHYTS, O. (2021) «ROL MULTYMEDIYNYKH ZASOBIV PRY VYVCHENNI OKHORONY PRATSI U ZAKLADAKH VYSHCHOYI OSVITY», ZBIRNYK NAUKOVYKH PRATS ΛΟΗΟΣ.
295. Rational Design Solution Based On Mathematical Modeling of an Interference Fit / V. Nechiporenko et al. In : Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Perakovi'c D. (eds.): Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering. Pp. 73–80. Springer, Cham (2021). DOI:10.1007/978-3-030-77719-7_8
296. Improvement of the Computer-Aided Design for Interference Fit Based on the Generalized Design Selection Criteria / V. Nechiporenko et al. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Rauch E. (eds.) DSMIE 2022 LNME, vol. 1, pp. 176-184. Springer, Cham (2022). doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_18
297. Свідоцтво № 99502 від 04.09.2020 про реєстрацію авторського права на твір за темою «Проектування раціональних посадок з натягом на основі багатопараметричних математичних моделей області їх існування» на комп'ютерну програму «Interference Fit» / П.І. Літовченко, В.М. Нечипоренко, В.А. Сало, Я.В. Павлов.
298. Нечипоренко В., Сало В., Літовченко П., Раківненко В., Горелишев С. Дослідження впливу параметрів посадки з натягом на її якісний вибір у системах автоматизованого проектування з'єднань // Колективна монографія «Prospective and priority directions of scientific research in technical and agricultural sciences (Mechanical Engineering)» : collective monograph / Gladilin V., Siroshstan T., Sviderska T., Shodra N. – etc. – International Science Group. – Boston (USA) : Primedia eLaunch, 2023. – С. 215–226. DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.3.5.1
299. Метод аналітичного опису області існування геометричних параметрів у автоматизованому проектуванні посадок з натягом / Нечипоренко В. М., Сало В. А., Літовченко П. І., Горбунов А. П. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. Харків, 2019. Вип. 1. С. 70–77.
300. Критерій вибору раціональних значень параметрів посадки з натягом при автоматизованому проектуванні / В. М. Нечипоренко та ін. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. Харків, 2020. Вип. 1. С. 13–20.
301. Ефективний метод вибору посадки з натягом на основі автоматизованої побудови комп'ютерної моделі / В. М. Нечипоренко та ін. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. Харків, 2021. Вип. 1. С. 103–109.
302. Новий науково обґрунтований метод автоматизованого проектування посадок з натягом / Літовченко П. І., Нечипоренко В. М., Сало В. А., Іванова Л. П. Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. Харків, 2013. Вип. 1. С. 74–79.

303. Рвачев В. Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения : монография. Киев : Наукова думка, 1982. 566 с.
304. Calculation of stress concentrations in orthotropic cylindrical shells with holes on the basis of a variational method / V. A. Salo et al. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 3, Issue 7 (99). Pp. 11–17. DOI:10.15587/1729-4061.2019.169631.
305. Calculation of the spherical elements of non-uniform thickness for structures with holes based on the variational RVR-method / V. A. Salo et al. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Issue 6/7(108). Pp. 36–42. DOI:10.15587/1729-4061.2020.217091.
306. Використання теорії R-функцій для створення раціональних посадок з натягом / В. М. Нечипоренко та ін. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. Харків, 2016. Вип. 2. С. 72–76.
307. Сало В. А. Краевые задачи статики оболочек с отверстиями. Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. 216 с.
308. Reissner, E. On a Variational Theorem in Elasticity // Journal of Mathematics and Physics. 1950. Vol. 29, Issue 1-4. P. 90–95. doi: <https://doi.org/10.1002/sapm195029190>
309. Векуа И.Н. Некоторые общие методы построения различных вариантов теории оболочек. Москва: Наука, 1982. 285 с.
310. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения. Киев: Наук. думка, 1982. 566 с.
311. Нагди П. О теории тонких упругих оболочек // Механика: Сб. пер. иностр. статей. – М.:, 1959. – Т. 128, № 1. – С. 71–81.
312. Новожилов В.В., Черных К.Ф., Михайловский Е.И. Линейная теория тонких оболочек. – Л.: Политехника, 1991. – 656 с.
313. Бойко Б.Т., Курпа Л.В., Сенчук Ю.Ф. Уравнения математической физики. – Харьков: Бизнес Информ, НТУ “ХПИ”, 2002. – 288 с.
314. Ректорис К. Вариационные методы в математической физике и технике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 592 с.
315. Сало, В.А. Доказательство достаточного признака сходимости метода Ритца для смешанного вариационного принципа Рейсснера // Вестник Харьков. гос. политех. ун-та. 2000. Вып. 95. С. 70–75.
316. Сало, В.А. О двусторонней оценке точности приближенных решений задач теории оболочек, полученных методом Ритца для неэкстремального функционала Рейсснера // Доповіді НАН України. 2003. № 1. С. 53–57.
317. Пикуль В.В. Прикладная механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1989. – 221 с.

318. Родионова В.А., Титаев Б.Ф., Черных К.Ф. Прикладная теория анизотропных пластин и оболочек. – Изд-во С.-Петербург. ун-т, 1996. – 278 с.
319. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Голуб Г.П. Статика анизотропных оболочек с конечной сдвиговой жесткостью. – К.: Наук. думка, 1987. – 216 с.
320. Сало В.А. О концентрации напряжений около отверстия в упругой сферической оболочке // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. 2004. Вып. 2. С. 66–72.
321. Сало В.А., Литовченко П.И., Чижиков И.В. Напряженно-деформированное состояние упругой цилиндрической панели с отверстием // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. - Вып. 1 (65). – Х., 2011. – С. 63–70.
322. Сало, В.А., Нечипоренко, В.М. Дослідження міцності пружної циліндричної конструкції під дією локального навантаження // Збірник наукових праць НА НГУ. – Харків: 2017. – Вип. 2. – С. 76–82.
323. Salo, V.A. Calculation of stress concentrations in orthotropic cylindrical shells with holes on the basis of a variational method [Text] / V.A. Salo, V.P. Rakivnenko, V.M. Nechiporenko, A.M. Kirichenko, S.S. Horielyshev, D.V. Onopreichuk, V.O. Stefanov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 3, Issue 7 (99). – P. 11–17. doi: 10.15587/1729-4061.2019.169631
324. Бабаев А.Э., Кубенко В.Д. Нестационарная аэроупругость слоистых оболочек. В кн. Механика композитов. (под. ред. А.Н. Гузя): в 12-и томах. Т.9. Динамика элементов конструкций. –К.: А.С.К., 1999. – С. 247- 261.
325. Головки К.Г., Луговой П.З., Мейш В.Ф. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках / Под ред. акад. НАН Украины А.Н. Гузя. – К.: Изд.-полигр. центр «Киевский университет», 2012. – 541 с.
326. Григоренко Я.М. Изотропные и анизотропные слоистые оболочки вращения переменной жесткости. К.: Наук. думка, 1973. – 288 с.
327. Мейш В.Ф., Штанцель С.Е. Розрахунок нестационарних вимушених коливань тришарових конічних оболонок з неоднорідним заповнювачем // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. Збірник наукових праць Національного транспортного університету. – Вип.№ 12, 2001. – С.417 – 420.
328. Луговой П.З., Мейш В.Ф., Мейш Ю.А. Динаміка конструктивно-неоднорідних структур: монографія / під ред. акад. НАО.М. Гузя. Київ: Видавництво Ліра, 2022. 326 с.

329. Мейш В.Ф., Луговой П.З., Мельник В.М. О динамическом поведении конической оболочки переменной толщины на упругом основании // Проблемы обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Дніпропетровськ: Видавництво Ліра. Вип. 19 – 2012. – С.219-225.
330. Орленко С.П. Чисельне моделювання коливань тришарової конічної оболонки з дискретно-симетричним неоднорідним заповнювачем // Доповіді НАН України. 2020. № 8 – С. 35 – 42.
331. Пастернак П. Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. - М.: Госстройиздат. 1954. - 56 с.
332. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. - К.: Сталь. 2002 – 597с.
333. Пискунов В.Г., Рассказов А.О. Развитие теории слоистых пластин и оболочек. Успехи механики: В 6-ти томах / Под редакцией А.Н. Гузя. Т.3. –К.: “А.С.К.” 2007.– С. 141 – 175.
334. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NXNastran.– М.: ДМК Пресс, 2013.– 784 с.
335. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки / М.: Наука, 1966. – 636 с.
336. Afshari H., Amirabadi H. Vibration characteristics of rotating truncated conical shells reinforced with agglomerated carbon nanotubes // 2021. Journal of Vibration and Control. 28(1) DOI:10.1177/10775463211000499
337. Avramov K. V. , Uspenskyi B. V., Biblik I.V. Dynamic instability of three-layer conical shell with honeycomb structure made by additive technologies // Journal of Mechanical Engineering – Problemy Mashynobuduvannia. 2022, 25, № 1, pp. 6-14.
338. Deniz A. The vibration and stability of a three-layered conical shell containing an FGM layer subjected to axial compressive load // 2006, Acta Mechanica.
339. Esfahani M. N., Hashemian M., and Aghadavoudi F. The vibration study of a sandwich conical shell with a saturated FGP core // Sci Rep. 2022 ;12(1):4950. doi: 10.1038/s41598-022-09043-w
340. Frostig, Y. and Thomsen, O.T. Higher-order free vibration of sandwich panels with a flexible core // Int. J. of Solids and Structures. 2004. 41. – P. 1697–1724.
341. Gaidaichuk V., Kotenko K. Investigation of the conical type shell structure dynamics under internal axisymmetric pulse loading // Strength of materials and theory of structures. 2021. 107. P.-10-29. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107>.
342. Kheirikhah M.M., Khalili S.M.R. and Malekzadeh Fard K. Biaxial buckling analysis of soft-core composite sandwich plates using improved high-order theory // European Journal of Mechanics A/Solids. 2011. 31 – P. 54–66.

343. Lugovyi P. Z., Gaidaichuk V. V., Orlenko S.P., Kotenko K. E. Dynamics of Sandwich Conical Shells with a Discretely Inhomogeneous Core Under Nonstationary Loading // *Int. Appl. Mech.* – 2022. – 58, N 4. – P. 410 - 422.
344. Meish V.F., Meish A Yu.A., Arnauta N.V. Numerical Analysis of Nonstationary Vibrations of Discretely Reinforced Multilayer Shells of Different Geometry // *Int. Appl. Mech.* – 2019. – 55, N 4. – P. 426-433.
345. Meish V. F., Meish Yu. A. and Kornienko V. F. Dynamics of Three-Layer Shells of Different Geometry with Piecewise-Homogeneous Core Under Distributed Loads // *Intern. Appl. Mechanics.* 2021. 57, p. 659–668.
346. Najafov M., Sofiyev A.H. The non-linear dynamics of FGM truncated conical shells surrounded by an elastic medium. *International Journal of Mechanical Sciences.* 2013. 66. p.33-44. DOI:10.1016/j.ijmecsci.2012.10.006.
347. Najafov A., Sofiyev A. H., Ozyigit P. and Tusat K.T. Vibration and stability of axially compressed truncated conical shells with functionally graded middle layer surrounded by elastic medium // *Journal of Vibration and Control.* - 2014, 20(2) P. - 303–320. DOI: 10.1177/107754631246102.
348. Shahgholi M., Vahidi H., Rahmani A., Mohamadi A. Stability analysis of an axially moving thin wall conical shells made of shape memory alloy // *Iranian Journal of Mechanical Engineering Transactions of the ISMF.* 2023. 23,(2).P. 105-128. DOI:10.30506/jmee.2022.543599.1278.
349. Vahidi H., Shahgholi M., Rahmani A., Mohamadi A. Nonlinear vibration, stability, and bifurcation of rotating axially moving conical shells // 2022. *Acta Mechanica* 233(8): p. 1-22. DOI:10.1007/s00707-022-03255-x.
350. Смірнов О.М., Тімошенко С.М., Нарівський А.В. (2023). Відновлення та інноваційний розвиток виробництва сталі в Україні в контексті енергоефективності та європейського зеленого курсу. *Вісник НАН України.* №4. С. 21–38. <https://doi.org/10.15407/visn2023.04.021>
351. Rissman J. et al (2020). Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied Energy.* Vol. 266. Pp. 114848. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114848>
352. Ren W., Wang L. (2022). Precipitation behavior of M23C6 in high nitrogen austenitic heat-resistant steel, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 905, 164013, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.164013>
353. Garin J.L., Mannheim R.L. (2009). Sigma-phase precipitation upon industrial-like heating of cast heat-resistant steels, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, Issue 7, Pp. 3143–3148, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.07.026>

354. Бубіс А.О., Федоров Г.Є. (2016). Підвищення властивостей жаростійких сталей для роботи в екстремальних умовах мікролегуванням і модифікуванням. Праці VII Міжнародної науково-технічної конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні – 2015» (21–22 травня 2015 року, Київ, Україна), С. 158–159. <https://doi.org/10.20535/2519-450x.6.2015>
355. Веретільник О. В., Біктагіров Ф. К., Шаповалов В. О., Гнатушенко О. В., Ігнатов А. П. (2020). Технології переробки металевої стружки (Огляд). Сучасна електрометалургія [Electrometallurgy Today]. 2020. № 1. С. 31–38. <https://doi.org/10.37434/sem2020.01.06>
356. Bedarkar S.S., Singh R. (2013). Removal of Phosphorous from Steel Produced by Melting Sponge Iron in Induction Furnace. Trans. Indian. Inst. Met. Vol. 6. pp. 207–211. <https://doi.org/10.1007/s12666-013-0244-z>
357. Wang B., Zhang Y., Qiu F., Cai G., Cui W., Hu Z., Zhang H., Tyrer N., Barber G.C. (2022). Role of trace nanoparticles in manipulating the widmanstatten structure of low carbon steel. Materials Letters. Vol. 306. Pp. 130853. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.130853>
358. Скачок О.Е., Прилуцький М.І., Шаповалов В.О. (2011) Плавка мідних відходів. Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (24 травня 2011 року, м. Київ). К.: НТУУ «КПІ», 2011. С. 209–215. <http://www.fhotm.kpi.ua/labours/labours-2011.pdf>
359. Верховлюк А.М., Русаков П.В., Лахненко В.Л., Петровський Р.В., Червоний І.Ф. (2019). Процес одержання вторинних кольорових сплавів з використанням індукційної плавки. Процеси лиття. Т. 134, №2. С. 40–48. <https://plit-periodical.org.ua/index.php/plit/article/view/141>
360. Li H., Wang A., Liu T., Chen P., He A., Li Q., Luan J., Liu C.-T. (2021). Design of Fe-based nanocrystalline alloys with superior magnetization and manufacturability. Materials Today. Vol. 42. Pp. 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.09.030>
361. Григор'єв С. М., Кириченко О. Г., Воляр Р. М., Зінченко О. Я. (2019). Використання брикетів, що вміщують хром, у виробництві порошкових спеціальних сталей. Металургія. Вип. 1. С. 38–41. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Metalurg_2019_1_9
362. Patil D.D., Ghatge D.A. (2017). Parametric Evaluation of Melting Practice on Induction Furnace to Improve Efficiency and System Productivity of CI and SGI Foundry – A Review. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. Vol. 4, Special Issue 1. Pp. 159–163. <https://doi.org/10.17148/IARJSET/NCDMETE.2017.36>
363. Chaabet M., Dötsch E. (2012). Steelmaking based on inductive melting. Induction Technology: Reports. No. 1. Pp. 49–58. https://abpinduction.com/wp-content/uploads/2020/02/ABP-Steelmaking_based_on_inductive_melting_M_Chaabet_E_Doetsch.pdf

364. Знакомство с системой контроля толщины футеровки SAVEWAY. Агентство Литье++. <https://on-v.com.ua/novosti/texnologii-i-nauka/znakomstvo-s-sistemoj-kontrolya-tolshhiny-futerovki-saveway>
365. Козлов Г.О., Тополов В.Л. (2008). Індукційні печі: Навчальний посібник для студентів ВНЗ. Нікополь: НТ НМетАУ, 2008. 32 с. <https://kema.at.ua/docs/met8.pdf>
366. Наумик В.В. (2021). Проведення дослідних плавок з виробництва із свіжих компонентів сучасного ливарного жароміцного нікелевого сплава. Процеси лиття. Т. 146, №4. С. 3–13. <https://doi.org/10.15407/plit2021.04.003>
367. Середенко В.О., Середенко О.В., Паренюк О.А. Виплавка металів та сплавів з високою електропровідністю в індукційних тигельних печах. Литво. Металургія. 2019 : матеріали 15-ї, 8-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (21-23 травня 2019 р.). Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.] ; заг. ред. О.І. Пономаренко. Запоріжжя : АА Тандем, 2019. С. 180–182. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/66399>
368. Taiwo O., Adediran A., Akinwande A., Okoyeh F. (2023). A Review on Design and Fabrication of Fuel Fired Crucible Furnace. International Journal of Materials and Metallurgical Engineering. Vol. 17(3). Pp. 48–58. <https://publications.waset.org/10013016/a-review-on-design-and-fabrication-of-fuel-fired-crucible-furnace>
369. Khaydarov A.K., Karimov B.Y. (2022). Features of the use of induction crucible furnaces for melting metals. International Journal of Social Science & Interdisciplinary Research. Vol. 11(03). Pp. 33–39. <https://www.gejournal.net/index.php/IJSSIR/article/view/312>
370. Patel K.M. (2019). An Overview of Applications of Induction Heating. International Journal of Electrical Engineering and Technology, Vol. 10(2), Pp. 81–85. <https://ssrn.com/abstract=3536945>
371. Rudnev V., Fett G.A., Griebel A., Tartaglia J. (2014). Principles of induction hardening and inspection. In: Rudnev V.T., Totten G.E. (eds). Induction heating and heat treatment, ASM handbook. ASM International, Vol. 4C. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v04c.a0005863>
372. Pachkolin Y., Bondarenko A., Levchenko S. (2018). Practical Application of Mathematical Models of Electro-thermo-mechanical Processes in Industrial Induction Furnaces with the Aim of Increasing Their Energy Efficiency. Technology Audit and Production Reserves. Vol. 5, no. 1, 2018, Pp. 28-33. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146484>

373. Razzhivin O., Markov O., Subotin O. (2022). Automated Melt Temperature Control System in Induction Furnace. In 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine. Pp. 01–04. <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005650>
374. Dötsch, E. (2014). Operation of Induction Furnaces in Iron Foundries. In: Rudnev V.T., Totten G.E. (eds). Induction heating and heat treatment, ASM handbook. ASM International, Vol. 4C. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v04c.a0005904>
375. Грабченко А.І., Федорович В.О., Гаращенко Я.М. (2009). Методи наукових досліджень : навч. посібник / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Харків : НТУ "ХПІ", 2009. 142 с.
376. Эйлоарт Т. (1970). Приемы настройки творческого инженерного коллектива. Изобретатель и рационализатор. №5. С. 87-93.
377. Osborn A.F. (1963). Applied imagination: Principles and procedures of creative thinking (3rd ed.). New York, NY: Charles Scribner's Sons. 417 p.
378. Кухар В.В., Кас'яненко С.Ф., Бурко В.А. (2023). Удосконалення засобів індивідуального захисту від падіння з висоти методами фокальних об'єктів та контрольних запитань. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки. № 47. С. 249–258. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300066>
379. Зайцев Є.О., Криворучко О.В., Сидорчук В.Є., Цюцюра М.І. (2015). Основи побудови систем моніторингу металургійного обладнання на базі лазерних профілометрів. Управління розвитком складних систем. № 24. С. 177–182. <https://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-24/27.pdf>
380. Кляйнлох Ю., Бліссенбах Д., Кірххофф Ш., Карлхофф К. (2010). Спосіб для контролю зносу вогнетривкої футерівки металургійної плавильної посудини : пат. 91253 Україна : МПК (2009) G01B 9/00 G01B 11/14 (2006.01) G01B 11/24 (2006.01) G01B 11/30 (2006.01). № a200808692 ; заявл. 02.12.2005 ; опубл. 12.07.2010, Бюл. № 13. 7 с. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=147209>
381. Аксельрод Л.М., Лаптев А.П., Устинов В.А., Геращук Ю.Д. (2009). Повышение стойкости футеровки конвертеров: огнеупоры, технологические приемы. Метал та Лиття України. № 1-2. С. 9–15. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/31531/03-Akselrod.pdf>
382. Angelova D. Experimental Application of the Method of Focal Objects in Design Education. Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design. 2021. Vol. 2, Issue 20. Pp. 82–87. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20220215904>

383. Сохацький О.А., Чайка О.Л. (2012). Математичне моделювання та дослідження теплообмінних процесів у периферійній зоні доменної печі. Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”. № 1 (47), С. 144–154. <http://biblio.umsf.dp.ua/jspui/handle/123456789/720>
384. Корнілов Б.В., Чайка О.Л., Лебідь В.В., Шумельчик Є.І., Москалина А.О. (2021). Аналіз теплової роботи горну та поду доменних печей України різної конструкції. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. Вип. 35. С. 55–68. <http://jnas.nbuiv.gov.ua/article/UJRN-0001316827>
385. Семенов Ю.С., Шумельчик Є.І., Горупаха В.В. (2018). Діагностика та управління доменною плавкою в змінних паливно-сировинних умовах. Дніпро: Домінанта Прінт, 2018. 260 с. https://isi.gov.ua/wp-content/uploads/2023/03/Book_укр.pdf
386. Schmitz W., Donsbach F., Henrik H. (2006). Development and Use of a New Optical Sensor System for Induction Furnace Crucible Monitoring. World Foundry Congress. Casting the Future. WFC06. 2006. https://www.iftabira.org/pdfs/15%20W.Schmitz_441168101.pdf
387. Kuo S.-K., Lee W.-C., Du S.-W. (2008). Measurement of Blast Furnace Refractory Lining Thickness with a 3D Laser Scanning Device and Image Registration Method. ISIJ International. 2008. Vol. 48, Issue 10. Pp. 1354–1358. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.48.1354>
388. DELTA. Sensors and Systems for the Steel Industry. <https://www.deltasensor.eu/page.php>
389. SAVEWAY. Measuring technology for: Melting, holding and treatment equipment in the foundry, steel, smelter and glass industry. SAVEWAY® system. Continuous measurement of remaining lining thickness. <https://www.saveway-germany.de/en/measuring-systems/saveway>
390. Luoyang Songdao Induction Heating Technology Co., Ltd. Induction Melting Furnace System: All Days Continuous Monitoring. <https://www.firstfurnace.com/BdwlkjNews.asp?id=1584>
391. MTI Corporation. <https://www.mtixtl.com>
392. Acuity. Non-Contact Laser Sensor Experts. <https://www.acuitylaser.com>
393. Taubin G., Moreno D., Lanman D. (2014). 3D Scanning for Personal 3D Printing: Build Your Own Desktop 3D Scanner. Version 1.0, 11 June 2014. Vancouver: Siggraph 2014. Naturally Digital. 60 p. <http://mesh.brown.edu/desktop3dscan>
394. New Advances in 3D Laser Scanning Technologies from Laser Design. Laser Design. <https://www.laserdesign.com/new-advances-in-3d-laser-scanning>

395. Литвин З.Б. (2007). Функціонально-вартісний аналіз: навчальний посібник. Тернопіль: Економічна думка. 130 с.
<http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/462/1/Функціонально-вартісний%20аналіз.pdf>
396. Борисюк Д.В., Зелінський В.Й. (2023). Функціонально-вартісний аналіз системи «Valvetronic» двигунів «N-серії» автомобілів ‘BMW’. Вісник ВПІ. Вип. 1. С. 72–81. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-166-1-72-81>
397. Борисюк Д.В., Зелінський В.Й. (2023). Функціонально-вартісний аналіз системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340». Наукові праці Вінницького національного технічного університету, Вип. 1. С. 23–37. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2023-1-23-37>
398. Борисюк Д.В., Зелінський В.Й. (2024). Функціонально-вартісний аналіз вузлів та механізмів автомата Калашникова. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Вип. 1. С. 80–94. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2024-1-80-94>
399. Gorokhovskii A.V., Meshcheryakov D.V., Burmistrov I.N., Sevryugin A.V. (2019). Heat-Reflecting Ceramic Materials Based on Potassium Polytitanate and Silicon Oxide. *Refractories and Industrial Ceramics*. Vol. 59. Pp. 663–666. <https://doi.org/10.1007/s11148-019-00292-3>